

Cara uji triaksial untuk tanah dalam keadaan terkonsolidasi tidak terdrainase (*Consolidated Undrained/CU*) dan terkonsolidasi terdrainase (*Consolidated Drained/CD*)



© BSN 2015

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata	iii
Pendahuluan.....	iv
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	2
4 Persyaratan pengujian.....	4
5 Pengujian.....	7
6 Pencatatan data	12
7 Perhitungan	13
Lampiran A	18
Lampiran B	25
Lampiran C	28
Bibliografi	34
Gambar A.1 - Foto contoh rangkaian sistem triaksial untuk pengujian terkonsolidasi tidak terdrainase (CU) dan terkonsolidasi terdrainase (CD).....	18
Gambar A.2 - Skema peralatan triaksial untuk pengujian terkonsolidasi tidak terdrainase (CU) dan terkonsolidasi terdrainase (CD)	19
Gambar A.3 - Pencetakan benda uji dengan tabung belah menggunakan ekstruder	20
Gambar A.4 - Mengeluarkan benda uji dengan membuka tabung belah	20
Gambar A.5 - Penempatan benda uji di atas landasan sel triaksial	20
Gambar A.6 - Pemasangan membran karet pada alat peregang membran dan alat isap udara di sampingnya	20
Gambar A.7 - Pemasangan membran karet sekeliling benda uji	21
Gambar A.8 - Melepaskan membran karet dari alat sembulan dan meratakan permukaannya	21
Gambar A.9 - Mengikat bagian atas dan bawah dengan karet O-ring	21
Gambar A.10 - Memasang penutup sel bagian atas	21
Gambar A.11 - Proses penjenuhan dengan pemberian tekanan sel.....	22
Gambar A.11 - Proses penjenuhan dengan pemberian tekanan sel (lanjutan).....	23
Gambar A.12 - Proses konsolidasi	24
Gambar A.13 - Proses penggeseran tidak terdrainase dengan cara kompresi.....	25
Gambar B.1 - Bagan alir cara uji triaksial untuk tanah dalam keadaan terkonsolidasi (CU) .	26

Gambar B.2 - Bagan alir cara uji triaksial untuk tanah dalam kondisi terkonsolidasi dan terdrainase (CD)	27
Tabel C.1 - Formulir penentuan uji triaksial	28
Tabel C.2 - Formulir isian proses konsolidasi	29
Tabel C.3 - Formulir uji geser dan contoh perhitungan triaksial <i>CU</i>	30
Tabel C.4 - Contoh hasil pelaporan uji triaksial <i>CU</i>	31
Tabel C.5 - Formulir uji geser dan contoh perhitungan triaksial <i>CD</i>	32
Tabel C.6 - Contoh hasil pelaporan uji triaksial <i>CD</i>	33



Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang “Cara uji triaksial untuk tanah dalam keadaan terkonsolidasi tidak terdrainase (Consolidated Undrained/CU) dan terkonsolidasi terdrainase (Consolidated Drained/CD)” ini merupakan revisi dari standar SNI 03-2455-1991 *Tanah, Metode pengujian laboratorium triaksial* dengan Pedoman Standardisasi Nasional 08:2007. Standar ini mengacu pada ASTM D4767-88 (*Consolidated Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils*). Perbaikan dan penyempurnaan yang dilakukan meliputi penambahan rumus-rumus untuk koreksi membran, gambar-gambar dan penjelasan cara kerja peralatan secara skematis, bagan alir metode pengujian, dan penambahan metode pengujian triaksial terkonsolidasi terdrainase (CD), serta contoh-contoh pengujian.

Standar ini dimaksudkan untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah (ϕ', c') dan hubungan antara tegangan dan regangan benda uji tanah tidak terganggu atau benda uji tanah terganggu, yang akan digunakan untuk keperluan analisis stabilitas lereng dalam desain struktur tanah. Standar ini diharapkan dapat bermanfaat bagi para laboran atau tenaga teknis yang berhubungan dengan penyelidikan geoteknik, para pendesain bangunan air dan pihak-pihak terkait lainnya.

Mengingat kompleksnya cara uji triaksial ini, berdasarkan hasil konsensus, judul standar ini menjadi “Cara uji triaksial terkonsolidasi tidak terdrainase (CU) dan terkonsolidasi terdrainase (CD)”. Sedangkan untuk tanah dalam kondisi tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase (UU) dibuat standar yang terpisah.

Standar ini dipersiapkan oleh Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Sub Komite Teknis Sumber Daya Air melalui Gugus Kerja Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan dan telah dibahas dalam forum rapat konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 2 September 2004 di Bandung, dan dikonsensuskan ulang oleh Sub Komite Teknis Sumber Daya Air pada tanggal 4 November 2013 yang melibatkan para narasumber, pakar dan instansi terkait serta melalui jajak pendapat tanggal 15 September 2014 sampai 14 November 2014.

Pendahuluan

Dalam desain struktur tanah sering dilakukan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan parameter kuat geser baik tegangan total maupun tegangan efektif. Parameter ini dapat diperoleh dengan berbagai cara. Salah satunya yang paling sering digunakan adalah melalui pengujian laboratorium dengan menggunakan peralatan triaksial. Paling sedikit ada 3 (tiga) tipe pengujian triaksial, yaitu uji triaksial tidak terkonsolidasi tidak terdrainase (*UU*) yang disebut kuat geser tegangan total (tanpa pengukuran tekanan air pori), uji triaksial terkonsolidasi tidak terdrainase, *CU* (dengan pengukuran tekanan air pori), dan uji triaksial terkonsolidasi terdrainase, *CD* (tekanan air pori dijaga agar tidak meningkat) yang hasilnya disebut sebagai kuat geser tegangan efektif.

Standar ini menguraikan sistem peralatan uji triaksial yang terdiri atas sel triaksial, peralatan pembebanan aksial, peralatan pengontrol tekanan, dan peralatan ukur yang terdiri atas alat ukur tekanan sel dan tekanan balik, alat ukur tekanan air pori, alat ukur perubahan volume, alat ukur deformasi benda uji dan ekstruder, bahan serta persyaratannya, petunjuk pengoperasian alat dan metode uji, perhitungan dan pelaporan hasil uji geser triaksial terkonsolidasi yang mengalami drainase maupun tidak untuk benda uji tanah kohesif, dan contoh-contoh hasil pengujian.

Cara uji ini dimaksudkan sebagai pegangan dan acuan dalam uji geser triaksial tekan terkonsolidasi tidak terdrainase dan terkonsolidasi terdrainase untuk tanah kohesif. Tujuannya adalah untuk memperoleh kuat geser (ϕ' , c') dan hubungan antara tegangan dan regangan benda uji tanah tidak terganggu atau benda uji tanah terganggu yang dikonsolidasi secara isotropik, lalu dilakukan penggeseran baik tanpa drainase maupun dengan drainase, dan dengan beban aksial tekan dan kecepatan gerak tetap.



Cara uji triaksial untuk tanah dalam keadaan terkondolidasi tidak terdrainase (*Consolidated Undrained/CU*) dan terkondolidasi terdrainase (*Consolidated Drained/CD*)

1 Ruang lingkup

Standar ini menetapkan cara uji triaksial untuk tanah dalam keadaan terkondolidasi tidak terdrainase (*CU*) dan terkondolidasi terdrainase (*CD*), untuk memperoleh parameter kuat geser (ϕ' , c') dan hubungan antara tegangan dan regangan benda uji tanah tidak terganggu atau benda uji tanah terganggu.

Standar ini menguraikan prinsip-prinsip cara uji yang menggunakan sel triaksial sebagai berikut.

- a) Sistem peralatan uji triaksial yang terdiri atas sel triaksial, peralatan pembebanan aksial, peralatan pengontrol tekanan, dan peralatan ukur yang terdiri atas alat ukur tekanan sel dan tekanan balik, alat ukur tekanan air pori, alat ukur perubahan volume, alat ukur deformasi benda uji dan ekstruder, bahan serta persyaratannya.
- b) Petunjuk pengoperasian alat dan metode uji.
- c) Perhitungan parameter tanah semula, setelah penjenuhan dan konsolidasi, serta perhitungan regangan dan tegangan pada waktu dilakukan penggeseran dengan cara kompresi.
- d) Pelaporan hasil uji geser triaksial terkondolidasi tidak terdrainase (*CU*) dan terkondolidasi terdrainase (*CD*) untuk contoh tanah kohesif.
- e) Contoh-contoh pengujian dalam bentuk formulir isian.

2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan standar ini:

SNI 1742:2008, *Cara uji kepadatan ringan untuk tanah*

SNI 1964:2008, *Cara uji berat jenis tanah*

SNI 1965:2008, *Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan*

SNI 1966:2008, *Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah*

SNI 1967:2008, *Cara uji penentuan batas cair tanah*

SNI 2812:2011, *Cara uji konsolidasi tanah satu dimensi*

SNI 3423:2008, *Cara uji analisis ukuran butir tanah*

SNI 03-3637-1994, *Metode pengujian berat isi tanah berbutir halus dengan cetakan benda uji*

3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi berikut berlaku untuk penggunaan standar ini:

3.1

benda uji tanah

benda uji yang diletakkan di dalam ring logam dengan dua buah batu pori yang diletakkan di atas dan di bawah benda uji tanah tersebut. Pembebanan pada benda uji tanah dilakukan dengan cara meletakkan beban pada ujung sebuah balok datar, dan benda uji selalu direndam dalam air selama pengujian

3.1.1

alat pembentuk (*trimmer*)

alat pembentuk benda uji tanah

3.1.2

arloji ukur (*dial gauge*)

alat pengukur perubahan panjang

3.1.3

cincin karet berbentuk O (*O-ring seal*)

alat penahan bentuk benda uji tanah

3.1.4

cincin pengukur beban (*proving ring*)

alat pengukur perubahan beban

3.1.5

ekstruder (*extruder*)

alat untuk mengeluarkan benda uji tanah

3.2

keruntuhan benda uji

kondisi tegangan pada waktu benda uji tanah runtuh, biasanya diambil pada tegangan deviator maksimum atau pada regangan maksimal 15% - 20% bergantung pada kondisi yang terjadi lebih awal

3.3

konsolidasi

suatu proses perubahan volume tanah akibat keluarnya air pori yang disebabkan oleh peningkatan tekanan air pori dalam lapisan tanah jenuh air yang diberi beban sampai terjadi kondisi seimbang

3.4

konsolidasi primer (*primary consolidation*)

konsolidasi yang terjadi akibat turunnya tekanan air pori berlebih secara lambat laun hingga menjadi tegangan efektif

3.5

pemampatan awal (*initial compression*)

proses konsolidasi yang disebabkan oleh pembebanan awal (*preloading*)

3.5.1**grafik pemampatan dan waktu**

grafik hubungan antara pemampatan dan waktu untuk setiap pembebanan dan bentuk grafik umumnya terdiri atas tiga tahapan yang berbeda

3.5.2***linear variable displacement transducer (LVDT)***

alat pengukur perubahan panjang secara elektronik

3.5.3***major principal stress***

tegangan utama maksimum σ_1

3.5.4***minor principal stress***

tegangan utama minimum σ_3

3.5.5**tegangan deviator**

beda tegangan utama maksimum dengan tegangan utama minimum

3.5.6**pembebanan hidrolik (*hydraulic loading*)**

pembebanan secara hidrolik

3.5.7**pembebanan pneumatik (*pneumatic loading*)**

pembebanan secara pneumatik

3.6**sel beban elektronik (*load cell*)**

alat pengukur beban secara elektronik

3.6.1**indikator nol (*null indicator*)**

alat penyeimbang pada sistem tekanan air pori

3.6.2**tekanan balik pada benda uji tanah**

tekanan air yang diberikan pada pori-pori benda uji agar udara termampatkan sehingga benda uji menjadi jenuh

3.6.3**tekanan konsolidasi**

perbedaan tekanan antara tekanan sel dengan tekanan air pori sebelum konsolidasi dimulai

3.6.4**transduser listrik (*electrical transducer*)**

alat pengukur tekanan secara elektronik

3.7**terdrainase**

suatu proses penggeseran yang menyebabkan benda uji tanah dapat mengalami perubahan volume tanpa peningkatan tekanan air pori

3.8

terkonsolidasi

proses dengan memberikan tekanan samping sesuai dengan kebutuhan dan dibiarkan hingga tekanan air porinya kembali pada tekanan semula sebelum pengujian

3.9

tidak terdrainase

proses penggeseran dengan volume benda uji tanah tidak boleh mengalami perubahan dan pada waktu pembebanan geser terjadi peningkatan tekanan air pori

3.10

uji konsolidasi

uji yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik suatu tanah selama proses konsolidasi berlangsung dan merupakan suatu metode uji untuk menentukan koefisien pemampatan dan kelulusan air tanah

4 Persyaratan pengujian

4.1 Peralatan

Rangkaian peraralatan uji geser triaksial untuk melaksanakan uji geser terkonsolidasi tidak terdrainase dan terkonsolidasi terdrainase (lihat Gambar A.1 dan Gambar A.2) terdiri atas beberapa kelompok peralatan. Kelompok peralatan tersebut meliputi peralatan pembeban aksial, peralatan ukur, peralatan pengontrol tekanan, sel triaksial dan perlengkapannya, serta peralatan lain.

4.1.1 Peralatan pembeban aksial

Peralatan pembeban aksial terdiri atas alat-alat sebagai berikut.

4.1.1.1 Peralatan pembeban aksial (mesin pembeban) yang berupa dongkrak sekrup, yang digerakkan oleh:

- a) elektromotor dengan sistem roda gigi
- b) pembeban hidrolik atau pneumatik
- c) alat pembeban lain

dengan syarat:

- 1) kecepatan gerak vertikal mempunyai ketelitian $\pm 0,1\%$ dari kecepatan yang telah ditentukan
- 2) getaran mesin pada waktu pengujian harus cukup kecil untuk mencegah terjadinya perubahan dimensi benda uji tanah, atau peningkatan tekanan air pori jika katup drainase ditutup.

4.1.1.2 Alat ukur beban aksial yang berupa cincin pengukur beban, sel beban elektronik, sel beban hidrolik atau alat ukur beban lain yang mempunyai kemampuan dan ketelitian cukup, dan dapat mengukur beban aksial dengan ketelitian $\pm 1\%$ hingga benda uji tanah mengalami keruntuhan

4.1.1.3 Piston pembeban aksial

- 1) piston dibuat menembus landasan bagian atas sel triaksial
- 2) dilengkapi cincin karet agar gesekan yang terjadi sekecil mungkin atau tidak melampaui $0,1\%$, dan beban aksial pada saat benda uji mengalami keruntuhan
- 3) piston harus dijaga tetap sentris terhadap benda uji dengan penyimpangan tidak lebih dari $1,3 \text{ mm}$

4.1.2 Peralatan pengontrol tekanan

Peralatan pengontrol tekanan sel dan tekanan balik terdiri atas:

- a) sistem pot merkuri
- b) sistem regulator pneumatik
- c) sistem kombinasi regulator tekanan pneumatik dan vakum
- d) sistem pengontrol lain dengan syarat
 - 1) ketelitian $< 1\%$ untuk tekanan yang kurang dari 200 kPa
 - 2) ketelitian $\pm 1\%$ untuk tekanan yang lebih besar dari 200 kPa

4.1.3 Peralatan ukur

Peralatan ukur yang digunakan meliputi alat-alat ukur sebagai berikut.

- a) Alat ukur tekanan sel dan tekanan balik
 - 1) Harus mempunyai ketelitian ukur yang cukup sesuai dengan yang disyaratkan.
 - 2) Alat dapat berupa pipa U, manometer, transduser listrik atau alat ukur tekan lain.
 - 3) Jika digunakan 2 macam alat ukur tekanan, kalibrasinya harus dilakukan secara bersamaan.
- b) Alat ukur tekanan air pori
 - 1) Harus cukup teliti sesuai dengan yang disyaratkan.
 - 2) Pada waktu uji geser tanpa mengalami drainase, tekanan air pori yang kecil pun dapat terbaca.
- c) Alat ukur perubahan volume
 - 1) Berupa buret yang ditempatkan dalam silinder tembus pandang.
 - 2) Mempunyai ketelitian ukur $\pm 0,05\%$ dari volume total benda uji tanah.
- d) Alat ukur deformasi.
 - 1) Berupa alat ukur pergerakan vertikal dari piston sel triaksial, seperti arloji ukur dan alat ukur elektronik (LVDT).
 - 2) Ketelitian alat ukur $\pm 0,02\%$ dari tinggi benda uji tanah semula.
 - 3) Kemampuan ukur minimal 20% dari tinggi benda uji tanah semula.
- e) Alat ukur panjang dan diameter benda uji dengan ketelitian $\pm 0,1\%$ dari panjang yang diukur dan tanpa mengganggu benda uji.
- f) Alat pencatat waktu dan timbangan.
 - 1) Alat pencatat waktu dengan ketelitian sampai detik yang digunakan untuk pencatatan data konsolidasi.
 - 2) Timbangan dengan ketelitian $\pm 0,05\%$ dari massa benda uji yang ditimbang

4.1.4 Sel triaksial dan perlengkapannya

Sel triaksial dan perlengkapannya terdiri atas peralatan sebagai berikut:

- a) Sel triaksial
 - 1) Sel dapat menahan tekanan sebesar tekanan balik ditambah dengan tekanan efektif konsolidasi.
 - 2) Sel terdiri atas silinder, penutup bagian atas, dan landasan bagian bawah.
 - 3) Silinder dianjurkan terbuat dari bahan tembus pandang, atau dilengkapi lubang pengamat yang tembus pandang agar perilaku benda uji dapat diamati.
 - 4) Penutup bagian atas yang dilengkapi dengan katup pengeluaran udara dan katup pengisi oli.
 - 5) Landasan bagian bawah yang dilengkapi dengan masing-masing 1 katup, yaitu pengatur tekanan air sel konstan, pengatur tekanan balik untuk penjenjuran, pengatur untuk mengukur tekanan air pori, dan pengatur untuk menghisap udara yang terperangkap dalam benda uji tanah.

- b) Tutup dan alas benda uji tanah
 - 1) Harus didesain agar sistem drainase pada kedua ujung benda uji berjalan dengan baik dan lancar.
 - 2) Terbuat dari bahan yang kaku, tidak berkarat, kedap air, dan berbentuk bulat.
 - 3) Berat tutup benda uji dan batu pori bagian atas harus kurang 0,5 dari beban aksial yang meruntuhkan benda uji atau kurang dari 50 gram.
 - 4) Diameter tutup dan alas harus sama dengan diameter benda uji.
 - 5) Alas benda uji tanah melekat langsung pada landasan bagian bawah, untuk mencegah pergerakan horizontal.
- c) Batu pori
 - 1) Berdiameter sama dengan diameter benda uji tanah.
 - 2) Mempunyai koefisien kelulusan air $\pm 10^{-4}$ cm/s.
 - 3) Harus diperiksa secara berkala untuk mencegah adanya penyumbatan.
- d) Kertas saring
 - 1) Dipasang sekeliling benda uji tanah, yang dipotong berbentuk sangkar (lihat Gambar A.2) dan tidak diperkenankan menutup lebih besar 50% dari selimut benda uji tanah.
 - 2) Dapat berfungsi mempercepat proses pengujian (penjenuhan dan konsolidasi).
 - 3) Terbuat dari bahan yang tidak larut dalam air.
 - 4) Koefisien kelulusan airnya sekitar 10^{-5} cm/s.
- e) Membran karet
 - 1) Harus kedap air dan elastis.
 - 2) Berdiameter 90% - 95% dari diameter benda uji.
 - 3) Mempunyai ketebalan $\pm 1\%$ dari diameter benda uji.
- f) Katup untuk mengatur sistem drainase pada alat ukur perubahan volume, tekanan sel dan, tekanan air pori
 - 1) Berkualitas tinggi.
 - 2) Tidak bocor jika diberi tekanan tinggi dengan perubahan volume yang kecil.

4.1.5 Peralatan lain

Peralatan lain yang harus disiapkan agar benda uji tanah dapat dicetak dan dipasang dengan baik adalah sebagai berikut.

- a) Alat pembentuk benda uji yang dilengkapi dengan gergaji kawat dan pisau pemotong atau tabung pencetak benda uji.
- b) Alat pemadat benda uji tanah yang dilengkapi dengan tabung belah dan penumbuk untuk contoh tanah terganggu.
- c) Alat peregang membran karet.
- d) Ekstruder untuk mengeluarkan contoh tanah dari tabung.
- e) Kaleng contoh untuk uji kadar air.

4.2 Kalibrasi

Semua alat ukur harus dikalibrasi minimal 3 tahun sekali dan pada saat diperlukan.

4.3 Air

Air yang digunakan dalam sistem pengujian triaksial harus bersih, bebas dari kotoran dan suspensi lumpur (disarankan untuk menggunakan air bebas udara).

4.4 Petugas

Petugas pengujian ini adalah laboran atau teknisi yang berpengalaman dalam pengujian triaksial, dan diawasi oleh ahli geoteknik.

5 Pengujian

5.1 Persiapan sebelum pengujian

5.1.1 Ukuran benda uji

Benda uji berbentuk silinder dengan perbandingan tinggi dan diameter antara 2 sampai 2,5.

5.1.2 Benda uji tanah tidak terganggu

Benda uji tanah tidak terganggu dapat dibentuk dengan 2 macam cara sebagai berikut:

- a) Benda uji tanah dikeluarkan dari tabung atau dipotong dari contoh blok dan diletakkan pada landasan alat pembentuk, lalu dibentuk dengan ketentuan:
 - 1) Menggunakan pisau atau gergaji kawat sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan.
 - 2) Mengukur tinggi dan diameter secara tepat.
 - 3) Menguji kadar air dan berat volume benda uji.
 - 4) Menghitung berat volume dan derajat kejenuhan.
- b) Benda uji tanah dibentuk langsung, dengan cara:
 - 1) Masukkan cetakan ke dalam tabung contoh.
 - 2) Keluarkan tabung cetak beserta contoh tanahnya dengan ekstruder dari tabung contoh.
 - 3) Potong contoh tanah dengan pisau.
 - 4) Bersihkan tanah yang berada di sekeliling tabung cetak.
 - 5) Keluarkan benda uji tanah dari tabung cetak dengan ekstruder.

5.1.3 Benda uji tanah terganggu yang dipadatkan

Benda uji tanah terganggu yang dipadatkan, dapat dibentuk dengan cara seperti berikut:

- a) Sediakan bahan contoh sesuai dengan keperluan dan campur dengan air agar tercapai kadar air sesuai dengan spesifikasi, kemudian simpan contoh dalam kaleng tertutup atau plastik dan diamkan selama ± 16 jam.
- b) Padatkan bahan contoh dalam tabung belah, dengan cara:
 - 1) Bagi bahan contoh yang akan dipadatkan minimal dalam 6 lapisan dengan berat dan volume tertentu untuk setiap lapis.
 - 2) Padatkan contoh lapis demi lapis sehingga mencapai kepadatan yang diinginkan dengan menggunakan alat penumbuk (besi atau kayu).
 - 3) Iris bagian atas dari setiap lapisan contoh sebelum dilanjutkan dengan lapis berikutnya.
 - 4) Keluarkan contoh dari tabung belah, lalu potong sesuai dengan tinggi yang dibutuhkan.
 - 5) Uji kadar air dan berat volume butir contoh tersisa, lalu hitung berat volumenya.

5.2 Prosedur pengujian

5.2.1 Pemasangan benda uji tanah dalam sel triaksial

Pemasangan benda uji tanah dalam sel triaksial dilaksanakan dengan cara sebagai berikut:

- a) Periksa membran karet terhadap kemungkinan bocor, dan periksa batu pori serta pipa-pipa drainase benda uji agar tidak terhambat udara atau tersumbat kotoran. Kemudian pasang katup-katup pengatur drainase yang terdapat pada landasan bagian bawah sel triaksial dengan sistem berikut:
 - 1) sistem tekanan sel;
 - 2) sistem tekanan air pori;
 - 3) sistem tekanan balik.
- b) Isi sistem drainase alat ukur tekanan air pori dengan air yang bebas udara dan cegah penyumbatan oleh kotoran atau hambatan gelembung udara.

- c) Atur batu pori dan kertas saring
 - 1) Jenuhkan batu pori dengan cara merebusnya dalam air mendidih selama minimal 10 menit, dan biarkan mendingin pada suhu kamar.
 - 2) Tempatkan batu pori yang jenuh air pada bagian alas dan bagian atas benda uji, dan tutup benda uji.
 - 3) Jenuhkan kertas saring dengan air dingin, kemudian pasang di sekeliling benda uji.
- d) Pasang benda uji tanah dan perlengkapan lain (Gambar A.3 sampai dengan Gambar A.10):
 - 1) Tempatkan membran karet pada alat peregang membran, dan balutkan pada benda uji tanah.
 - 2) Balutkan ujung-ujung membran karet pada alas dan tutup benda uji, dan ikatkan ujung-ujungnya dengan cincin karet berbentuk lingkaran.
 - 3) Pasang pipa drainase atas, dan jaga letak atau posisi tutup benda uji agar tetap sentris terhadap alas benda uji.
 - 4) Tutup sel dan pasang silinder.
 - 5) Turunkan piston pembeban sampai menyentuh tutup benda uji, dan jaga kunci agar tidak bergerak.
 - 6) Jaga benda uji agar tidak terbebani melebihi 0,5% dari beban yang dapat meruntuhkan benda uji.
- e) Isi sel benda uji dengan air secara hati-hati, hindari masuknya udara ke dalam sel (buka katup udara bagian atas), dan cegah bocoran dengan menambah gliserin $\pm 13,0\%$, dan isi formulir pengujian dengan parameter tanah semula.

5.2.2 Penjenuhan dengan tekanan balik

Benda uji tanah yang terpasang dalam sel triaksial harus dijenuhkan dahulu dengan memberi tekanan balik sebelum dilakukan penggeseran. Benda uji tanah dianggap jenuh jika koefisien tekanan air pori B telah mencapai nilai minimal 0,95. Tekanan balik untuk penjenuhan lempung lunak cukup sampai 200 kPa, sedangkan untuk tanah lempung yang lebih padat bisa mencapai 700 kPa. Proses penjenuhan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut (Gambar A.11).

- a) Pada keadaan tekanan sel 50 kPa (atau kurang dari 50 kPa pada tanah lempung lunak)
 - 1) Tutup katup tekanan sel dan katup tekanan balik pada sel triaksial.
 - 2) Setel pengatur tekanan sel secara bertahap dari 10 kPa atau mencapai 50 kPa dan baca buret pada alat ukur perubahan volume sel (= pembacaan awal dibaca setelah konstan).
 - 3) Buka katup tekanan sel (Gambar A.11a) dan biarkan katup tekanan balik tetap tertutup pada sel triaksial hingga tekanan air pori konstan minimal selama 15 menit.
 - 4) Setelah tekanan air pori konstan (Gambar 11.b), yaitu jika perubahan volume terbaca kurang dari $0,25 \text{ mm}^3/\text{menit}$, baca buret pada alat ukur perubahan volume sel (= pembacaan akhir), dan perbedaan antara pembacaan awal dan pembacaan akhir disebut perubahan volume sel (ΔV_s).
 - 5) Catat semua hasil pembacaan pada formulir penjenuhan.
- b) Pada keadaan tekanan balik 40 kPa (atau kurang 10 kPa dari tekanan sel).
 - 1) Tutup katup tekanan sel dan katup tekanan balik pada sel triaksial (Gambar A.11c).
 - 2) Setel pengatur tekanan balik hingga mencapai 40 kPa (berarti 10 kPa kurang dari tekanan sel), dan baca buret perubahan volume benda uji tanah (= pembacaan awal).
 - 3) Buka katup tekanan sel (Gambar A.11c) dan katup tekanan balik.
 - 4) Jaga tekanan balik agar tetap konstan.
 - 5) Setelah tekanan air pori mencapai 40 kPa, baca buret perubahan volume (gambar

- 11d) benda uji tanah (=pembacaan akhir), dan perbedaan antara pembacaan awal dan pembacaan akhir disebut perubahan volume benda uji tanah (ΔV_c).
- 6) Catat semua hasil pembacaan pada formulir pengujian.
- c) Pada keadaan tekanan sel ditingkatkan 50 kPa.
- 1) Tutup katup tekanan sel dan katup tekanan balik pada sel triaksial.
 - 2) Tingkatkan tekanan sel sebesar 50 kPa, dan baca buret perubahan volume sel (= pembacaan awal).
 - 3) Buka katup tekanan sel dan katup tekanan balik masih tetap tertutup.
 - 4) Biarkan keadaan hingga tekanan air pori konstan, yaitu jika perubahan volume sel kurang dari 0,25 mm/menit.
 - 5) Baca buret perubahan volume sel (= pembacaan akhir), dan perbedaan antara pembacaan awal dan pembacaan akhir disebut perubahan volume sel (ΔV_s).
 - 6) Catat semua hasil pembacaan pada formulir pengujian.
 - 7) Hitung koefisien tekanan air pori B dengan menggunakan persamaan

$$B' = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3} \quad (1)$$

Keterangan:

- B' adalah koefisien tekanan air pori,
 Δu adalah peningkatan tekanan air pori akibat peningkatan tekanan sel,
 $\Delta \sigma_3$ adalah peningkatan tekanan sel.

- d) Jika B' belum mencapai 1,00 ulangi langkah-langkah butir 2) sampai dengan 7) dengan peningkatan tekanan balik 40 kPa dan peningkatan tekanan sel 50 kPa secara bergantian hingga nilai B' mencapai 1,00 (apabila B' tidak mencapai nilai 1,00 maka ulangi langkah-langkah tersebut di atas sampai 0,95).
- e) Catat semua hasil pembacaan pada formulir pengujian.
- f) Hitung perubahan volume total (ΔV_t) pada waktu penjenruhan.

5.2.3 Proses konsolidasi

Setelah benda uji tanah dijenuhkan dengan tekanan balik, maka proses konsolidasi dapat dimulai. Proses konsolidasi dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut (lihat Gambar A.12).

- a) Pada keadaan tekanan sel ditingkatkan
- 1) Tutup katup tekanan sel dan katup tekanan balik pada sel triaksial (Gambar A.12a).
 - 2) Tingkatkan tekanan sel dengan memutar pengatur tekanan sel hingga perbedaan antara tekanan sel dan tekanan balik sesuai dengan tekanan efektif konsolidasi.
 - 3) Buka katup tekanan sel (Gambar A.12b) dan biarkan keadaan hingga tekanan air pori konstan (sama dengan tekanan sel).
- b) Pada waktu konsolidasi
- 1) Baca buret perubahan volume benda uji tanah (= pembacaan awal).
 - 2) Buka katup tekanan balik pada sel triaksial (Gambar A.12c).
 - 3) Baca buret perubahan volume benda uji tanah pada waktu-waktu (t) 1, 4, 9, 16, 25 menit dan seterusnya, dan konsolidasi dianggap selesai jika perubahan volume yang terbaca kurang dari 0,25 mm/menit.
 - 4) Catat semua hasil pembacaan pada formulir pengujian.
- c) Penggambaran grafik hubungan antara waktu dan perubahan volume serta perubahan tekanan air pori
- 1) Gambar hubungan antara \sqrt{t} dan perubahan volume V atau hubungan antara $\log t$ dan perubahan volume ΔV .

- 2) Hitung waktu terjadinya 100% konsolidasi (t_{100}) dan koefisien konsolidasi (c_v).
- 3) Hitung perubahan volume total selama penjenruhan dan konsolidasi, serta tinggi dan luas benda uji setelah konsolidasi.

5.2.4 Penggeseran tidak terdrainase dengan cara kompresi

Selama penggeseran dengan cara kompresi, tekanan sel harus konstan, drainase tidak diperkenankan dan pembebanan aksial yang melewati piston ditingkatkan secara perlahan-lahan. Proses pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut (lihat Gambar A.13).

- a) Tahap persiapan
 - 1) Tutup katup tekanan sel dan katup tekanan balik pada sel triaksial (gambar A.13a).
 - 2) Tempatkan sel triaksial di atas landasan mesin pembeban.
 - 3) Setel alat ukur beban aksial dan jaga piston sel triaksial agar tetap sentris terhadap mesin pembeban.
- b) Tahap pembebanan vertikal
 - 1) Gerakkan landasan mesin pembeban vertikal ke atas sehingga piston menyentuh alat ukur beban aksial.
 - 2) Buka pengunci piston dan gerakkan landasan mesin pembeban vertikal ke atas sehingga piston menyentuh tutup contoh tanah.
 - 3) Turunkan piston, dan pada saat itu arloji ukur dari cincin pengukur beban aksial sudah mencatat beban gesekan piston dan tekanan sel.
 - 4) Hilangkan beban tersebut dengan koreksi atau dengan menyetel arloji ukur nol kembali pada waktu penggeseran.
 - 5) Setel arloji ukur deformasi vertikal hingga menyentuh dudukan arloji ukur gerak vertikal.
- c) Tahap penentuan kecepatan gerak
 - 1) Pilih kecepatan gerak vertikal yang sesuai pada alat pembeban sehingga bacaan tekanan air pori cukup teliti pada waktu penggeseran.
 - 2) Taksir kecepatan gerak vertikal dengan anggapan bahwa keruntuhan benda uji terjadi pada waktu t_f dan regangan 4% atau bergantung pada jenis tanahnya.
 - 3) Hitung kecepatan gerak dengan menggunakan persamaan:

$$v = \frac{(\varepsilon \times H)}{(100 \times t_f)} \quad (2)$$

Keterangan:

- v adalah kecepatan gerak vertikal (mm/menit);
 ε adalah regangan (%);
 t_f adalah waktu terjadinya keruntuhan yang bergantung pada t_{100} , gunakan waktu keruntuhan minimum t_f sebesar 120 menit untuk pengujian triaksial CU (Tabel 1);
 t_{100} adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 100% konsolidasi (menit);
 H adalah tinggi benda uji tanah (mm);
 D adalah diameter benda uji tanah (mm);
 λ adalah konstanta yang digunakan untuk perhitungan c_v pada persamaan (16) (lihat Tabel 1).

Tabel 1 Faktor-faktor untuk perhitungan c_v dan waktu terjadinya keruntuhan untuk H/D

No.	Kondisi drainase	λ	t_f / t_{100}	
			tidak terdrainase	terdrainase
1	satu ujung	1	0,51	8,5
2	kedua ujung	4	0,51	8,5
3	sekeliling benda uji	64	1,49	12,7
4	sekeliling benda uji dan satu ujung	80	1,59	14,2
5	sekeliling benda uji dan dua ujung	100	1,77	15,8

Sumber : (Head, K.H., 1981)

- d) Tahap pembacaan hasil penggeseran dengan cara kompresi (Gambar A.13b)
 - 1) Siapkan formulir pengujian geser.
 - 2) Tekan tombol untuk menggerakkan mesin pembeban.
 - 3) Lakukan pembacaan pada arloji gerak vertikal, arloji cincin pembeban, manometer tekanan air pori untuk setiap 10 bagian peningkatan yang terbaca pada arloji gerak vertikal.
 - 4) Catat semua hasil pembacaan pada formulir pengujian geser, hingga mencapai 20% regangan atau beban aksial menurun 20% dari nilai maksimumnya.
- e) Tahap setelah penggeseran dengan cara kompresi
 - 1) Turunkan tekanan sel dan tekanan balik hingga nol, dan keluarkan air dari sel.
 - 2) Tutup semua katup sel triaksial.
 - 3) Lepaskan benda uji tanah dan membran karet dari alas bawah.
 - 4) Keluarkan benda uji tanah dari membran karet.
 - 5) Timbang berat, dan uji kadar airnya.
 - 6) Uji minimal 3 buah benda uji, dan gambarkan lingkaran *Mohr* atau grafik p, q .

5.2.5 Penggeseran terdrainase dengan cara kompresi

Proses penggeseran terdrainase dengan cara kompresi hampir sama dengan penggeseran tidak terdrainase dengan cara kompresi, dengan tekanan sel konstan, drainase diperkenankan dan pembebanan aksial yang melewati piston ditingkatkan secara perlahan-lahan. Proses pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut (lihat Lampiran B Bagan alir).

- a) Tahap persiapan:
 - 1) Tutup katup tekanan sel dan buka katup tekanan balik pada sel triaksial.
 - 2) Tempatkan sel triaksial di atas landasan mesin pembeban.
 - 3) Setel alat ukur beban aksial dan jaga piston sel triaksial agar tetap sentris terhadap mesin pembeban.
- b) Tahap pembebanan vertikal:
 - 1) Gerakkan landasan mesin pembeban vertikal ke atas sehingga piston menyentuh alat ukur beban aksial.
 - 2) Buka pengunci piston dan gerakkan landasan mesin pembeban vertikal ke atas sehingga piston menyentuh tutup benda uji tanah.
 - 3) Turunkan piston, dan pada saat itu arloji ukur dari cincin pengukur beban aksial sudah mencatat beban gesekan piston dan tekanan sel.
 - 4) Hilangkan beban tersebut dengan koreksi atau dengan menyetel arloji ukur nol

- kembali pada waktu penggeseran dengan cara kompresi.
- 5) Setel arloji ukur deformasi vertikal hingga menyentuh dudukan arloji pengukur gerak vertikal.
- c) Tahap penentuan kecepatan gerak:
- 1) Pilih kecepatan gerak vertikal yang sesuai pada alat pembeban sehingga bacaan tekanan air pori cukup teliti pada waktu penggeseran dengan cara kompresi.
 - 2) Taksir kecepatan gerak vertikal dengan anggapan bahwa keruntuhan benda uji terjadi pada waktu t_f dan regangan sebesar 4%-15% atau bergantung pada jenis tanahnya.
 - 3) Hitung kecepatan gerak dengan menggunakan persamaan (2) untuk kondisi terdrainase.
 - 4) Kecepatan gerak vertikal harus cukup lambat sehingga tidak terjadi peningkatan tekanan air pori berlebih atau $\Delta u = 0$.
 - 5) Peningkatan tekanan air pori yang besar pada waktu penggeseran dengan cara kompresi menandakan kecepatan gerak vertikal terlalu cepat sehingga pada waktu pengujian harus diperlambat.
- d) Tahap pembacaan hasil penggeseran:
- 1) Siapkan formulir pengujian geser.
 - 2) Tekan tombol untuk menggerakkan mesin pembeban.
 - 3) Lakukan pembacaan pada arloji gerak vertikal, arloji cincin pembeban, perubahan volume pada buret tekanan balik, manometer tekanan air pori untuk setiap 10 bagian peningkatan yang terbaca pada arloji gerak vertikal.
 - 4) Catat semua hasil pembacaan pada formulir pengujian geser hingga mencapai 20% regangan atau beban aksial menurun 20% dari nilai maksimumnya
- e) Tahap setelah penggeseran:
- 1) Turunkan tekanan sel dan tekanan balik hingga nol, dan keluarkan air dari sel.
 - 2) Tutup semua katup sel triaksial.
 - 3) Lepaskan benda uji tanah dan membran karet dari alas bawah.
 - 4) Keluarkan benda uji tanah dari membran karet.
 - 5) Timbang berat, dan uji kadar airnya.
 - 6) Uji minimal 3 buah benda uji, dan gambarkan lingkaran *Mohr* atau grafik p , q .

6 Pencatatan data

Data yang perlu dicatat pada formulir laporan hasil uji geser triaksial terkonsolidasi tidak terdrainase (*CU*) dan terkonsolidasi terdrainase (*CD*) terdiri atas

- a) nama proyek, lokasi, tanggal dan waktu pengujian;
- b) nomor lubang bor/sumuran uji, kedalaman, elevasi, jenis contoh (tidak terganggu, terganggu);
- c) parameter benda uji sebelum pengujian seperti berat volume, kadar air, derajat kejenuhan, tinggi, diameter, luas dan volume benda uji;
- d) tekanan balik total, koefisien tekanan air pori B pada akhir penjenjuran, tekanan efektif pada waktu konsolidasi, waktu terjadi 100% konsolidasi (t_{100});
- e) diameter, tinggi, luas, volume, berat volume dan kadar air benda uji setelah konsolidasi;
- f) tegangan deviator, tegangan utama efektif maksimum dan minimum, regangan aksial saat terjadi keruntuhan, dan kecepatan gerak vertikal (cm/menit);
- g) diagram hubungan antara tekanan sel dan koefisien tekanan air pori B , diagram hubungan antara waktu dan perubahan volume, diagram hubungan antara regangan dan tegangan deviator;
- h) diagram $p' - q'$ dari hasil pengujian;
- i) lingkaran *Mohr*, sudut geser dan kohesi pada tegangan total dan tegangan efektif;
- j) sketsa atau foto benda uji yang mengalami penggeseran dengan cara kompresi.

7 Perhitungan

7.1 Parameter tanah semula

Parameter benda uji tanah semula yang perlu diketahui:

γ_{no} adalah berat volume semula (gr/cm^3)

γ_{do} adalah berat volume kering semula (gr/cm^3)

w_o adalah kadar air semula (%)

S_o adalah derajat kejenuhan semula (%)

Parameter tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan (3) s.d (8) sebagai berikut.

$$w_o = \frac{(W_{wt} - W_{dt}) \times 100}{(W_{dt} - W_t)} \quad (3)$$

Keterangan:

w_o adalah kadar air semula (%)

W_{wt} adalah berat tanah basah + berat cawan (gr)

W_{dt} adalah berat tanah kering + berat cawan (gr)

W_t adalah berat cawan (gr)

$$A_o = \frac{1}{4} \pi D_o^2 \quad (4)$$

Keterangan:

A_o adalah luas benda uji tanah semula (cm^2)

D_o adalah diameter benda uji tanah semula (cm)

$$V_o = A_o \times H_o \quad (5)$$

Keterangan:

V_o adalah volume benda uji tanah semula (cm^3)

H_o adalah tinggi benda uji tanah semula (cm)

$$\gamma_{no} = \frac{W_i}{V_o} \quad (6)$$

$$\gamma_{do} = \frac{\gamma_{no}}{\left(1 + \frac{w_o}{100}\right)} \quad (7)$$

Keterangan:

γ_{no} adalah berat volume semula (gr/cm^3)

γ_{do} adalah berat volume kering semula (gr/cm^3)

W_i adalah berat benda uji tanah basah (gr)

$$S_o = \frac{\left(\frac{w_o}{100}\right)}{\left[\left(\frac{1}{\gamma_{do}}\right) - \left(\frac{1}{G_s}\right)\right]} \quad (8)$$

Keterangan:

G_s adalah berat jenis atau spesifik graviti (-).

7.2 Parameter tanah setelah penjenuhan dan konsolidasi

Setelah proses penjenuhan dan proses konsolidasi, volume benda uji akan mengalami

perubahan yang dapat dihitung dengan persamaan-persamaan (9) s.d (16) sebagai berikut.

$$\Delta V_t = \Delta V_s + \Delta V_c \quad (9)$$

Keterangan:

ΔV_s adalah perubahan volume pada sel dan benda uji waktu penjenruhan (cm^3)

ΔV_c adalah perubahan volume pada benda uji waktu konsolidasi (cm^3)

ΔV_t adalah perubahan volume total (cm^3)

$$\varepsilon_v = \left(\frac{\Delta V_t}{V_o} \right) \times 100\% \quad (10)$$

Keterangan:

ε_v adalah regangan volumetrik.

$$H_c = H_o \left[1 - \left(\frac{1}{3} \right) \times \left(\frac{\varepsilon_v}{100} \right) \right] \quad (11)$$

Keterangan:

H_c adalah tinggi benda uji tanah setelah penjenruhan dan konsolidasi (cm).

$$A_c = A_o H_o \left[1 - \left(\frac{1}{3} \right) \times \left(\frac{\varepsilon_v}{100} \right) \right] \quad (12)$$

$$V_c = (V_o - \Delta V_t) \quad (13)$$

Keterangan:

A_c adalah luas benda uji tanah setelah penjenruhan dan konsolidasi (cm^2),

V_c adalah volume benda uji tanah setelah penjenruhan dan konsolidasi (cm^3).

$$\gamma_c = \frac{W_c}{V_c} \quad (14)$$

$$\gamma_{dc} = \frac{\gamma_c}{\left(1 + \frac{W_c}{100} \right)} \quad (15)$$

Keterangan:

W_c adalah berat benda uji tanah setelah pengujian selesai (gr)

γ_c adalah berat volume benda uji tanah setelah pengujian (gr/cm^3)

w_c adalah kadar air benda uji tanah setelah pengujian selesai (%)

γ_{dc} adalah berat volume kering benda uji tanah setelah pengujian (gr/cm^3)

$$c_v = \frac{1,625 D^2}{(\lambda t_{100})} \quad (16)$$

Keterangan:

c_v adalah koefisien konsolidasi (m/tahun)

t_{100} adalah waktu untuk 100% konsolidasi (tahun)

λ adalah konstanta yang bergantung pada drainase (lihat Tabel 1)

D adalah diameter benda uji tanah

7.3 Perhitungan regangan dan tegangan pada waktu penggeseran

Regangan dan tegangan pada waktu penggeseran dengan cara kompresi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan (17) s.d (27) sebagai berikut.

$$\varepsilon = \left[(DD - DD_o) \times \frac{DD_c}{H_c} \right] \times 100 \quad (17)$$

Keterangan:

- ε adalah regangan pada waktu penggeseran (%)
 DD adalah pembacaan arloji gerak vertikal
 DD_o adalah pembacaan arloji gerak vertikal semula (unit),
 DD_c adalah konstanta koreksi arloji gerak vertikal (mm/unit)
 H_c adalah tinggi benda uji setelah penjuhan dan konsolidasi (mm)

Pada penggeseran tidak terdrainase dengan cara kompresi, luas permukaan benda uji dihitung dengan rumus:

$$A = \frac{A_c}{\left(1 - \frac{\varepsilon}{100}\right)} \quad (18)$$

Sedangkan pada penggeseran terdrainase, luas permukaan benda uji yang terpengaruh oleh perubahan volume yang terbaca pada buret tekanan balik dihitung dengan persamaan.

$$A = A_c \times \frac{\left(1 - \frac{\varepsilon_{vs}}{100}\right)}{\left(1 - \frac{\varepsilon}{100}\right)} \quad (19)$$

$$\varepsilon_{vs} = \left(\frac{\Delta V_g}{V_c} \right) \times 100 \quad (20)$$

Keterangan:

- A adalah luas benda uji tanah pada waktu penggeseran (cm²)
 ΔV_g adalah perubahan volume waktu penggeseran terdrainase (cm³)
 ε_{vs} adalah regangan volumetrik (%)

Pembacaan terkoreksi pembebanan, tegangan deviator dan tegangan-tegangan utama dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan (21) s.d (24) sebagai berikut.

$$LD_a = LD - LD_o \quad (21)$$

Keterangan:

- LD_a adalah pembacaan terkoreksi pada arloji cincin pembeban (unit),
 LD adalah pembacaan arloji cincin pembeban waktu pengujian (unit),
 LD_o adalah pembacaan arloji cincin pembeban sebelum pengujian (unit), pada awal pengujian dibuat = 0.

$$BEBAN = LD_a \times LRCi \quad (22)$$

Keterangan:

- $LRCi$ adalah konstanta koreksi arloji cincin pembeban

$$\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{BEBAN}{A} \quad (23)$$

Keterangan:

- $\Delta\sigma$ adalah tegangan deviator (kPa)

$$\sigma_3 = CP$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma \quad (24)$$

Keterangan:

CP adalah tekanan sel,

σ_3 adalah tegangan utama minimum total,

σ_1 adalah tegangan utama maksimum total.

Jika digunakan grafik p, q, dapat diperoleh tegangan-tegangan utama sebagai berikut.

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u \quad (25a)$$

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u \quad (25b)$$

Keterangan:

σ'_3 adalah tegangan utama minimum efektif

σ'_1 adalah tegangan utama maksimum efektif

$$p = \frac{(\sigma'_1 + \sigma'_3)}{2} \quad (26a)$$

$$q = \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{2} \quad (26b)$$

Untuk mendapatkan parameter kuat geser ϕ' dan c' digunakan rumus-rumus

$$\begin{aligned} \phi' &= \arcsin(\tan \alpha) \\ c' &= \frac{a}{\cos(\phi')} \end{aligned} \quad (27)$$

Keterangan:

ϕ' adalah sudut geser dalam efektif

c' adalah kohesi efektif

α adalah sudut yang diperoleh dari hasil regresi pada grafik p – q

a adalah konstanta yang diperoleh dari hasil regresi pada grafik p – q

7.4 Koreksi pengaruh membran karet

Jika ada kesalahan pembacaan tegangan deviator yang melebihi 5 %, koreksi pengaruh membran karet dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan

$$\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)_m = (4 E_m t_m \varepsilon) D_c \quad (28)$$

Keterangan:

$\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)_m$ adalah koreksi untuk pengurangan tegangan deviator yang terukur,

$D_c = \sqrt{4A_c/\pi}$ adalah diameter benda uji setelah konsolidasi,

E_m adalah modulus elastisitas membran karet (kPa), untuk bahan lateks nilai tipikalnya = 1200 kPa,

t_m adalah ketebalan membran (mm), biasanya 0,2 mm,

ε adalah regangan vertikal (desimal).

Modulus elastisitas membran dapat diperoleh dengan memotong membran karet yang berupa strip setinggi 15 –20 mm. Kemudian strip karet ini digantung pada arah melintang

dan bagian atas dengan suatu batang kecil, sedangkan pada bagian bawah dengan suatu batang kecil yang dilengkapi gantungan untuk beban. Selanjutnya modulus elastisitas dapat dihitung dengan rumus:

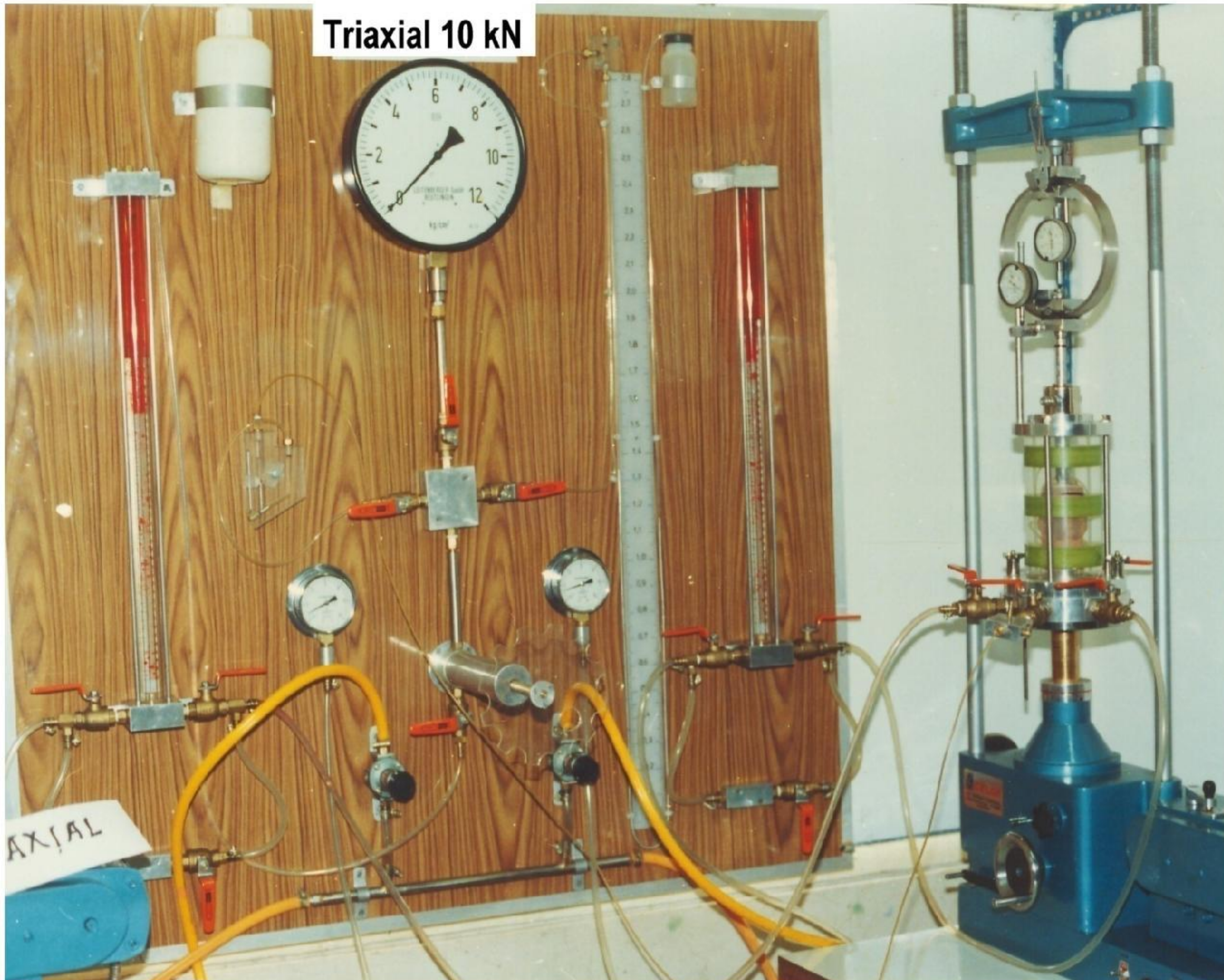
$$E_m = \left(\frac{F}{A_m} \right) \left(\frac{\Delta L}{L} \right) \quad (29)$$

Keterangan:

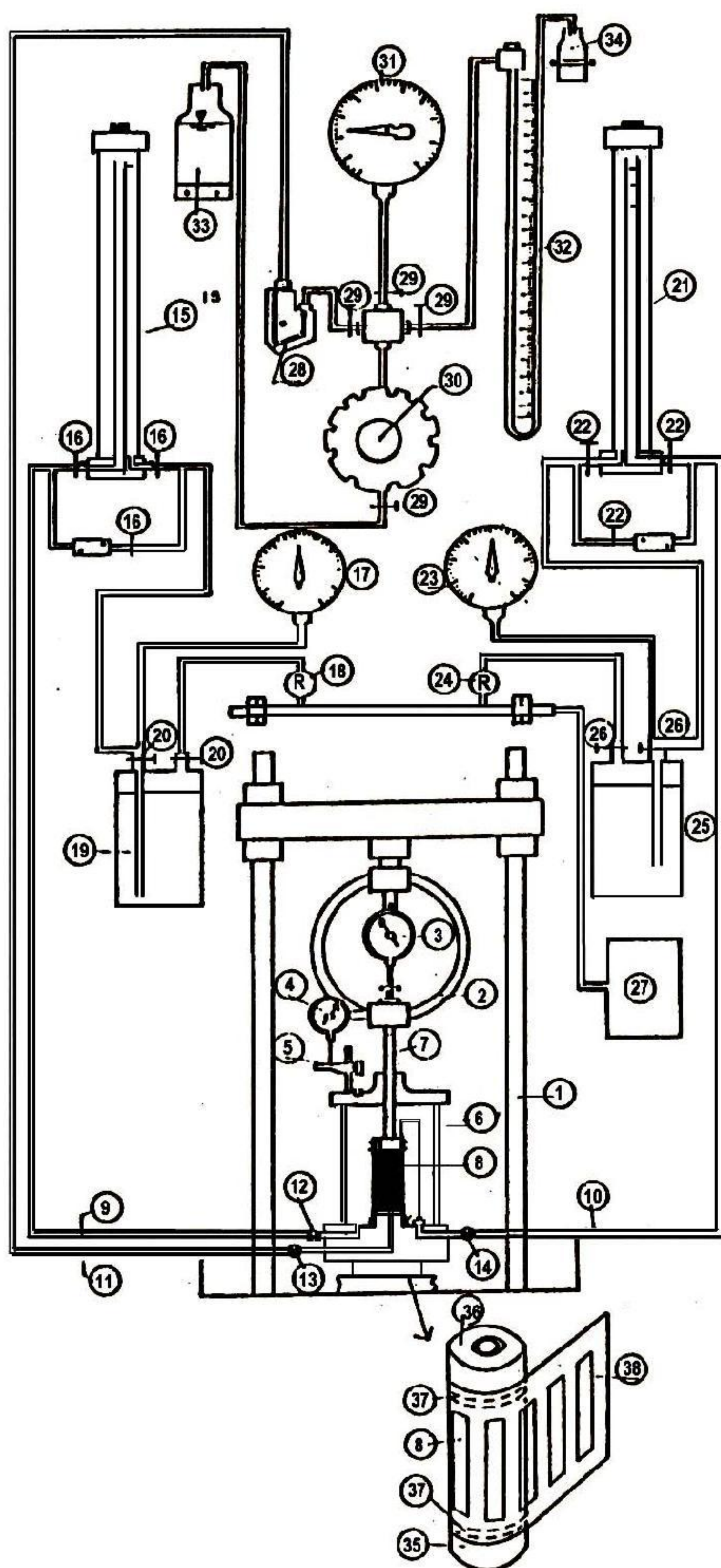
- E_m adalah modulus elastisitas material membran (kPa),
- F adalah gaya peregangan material (kN),
- L adalah panjang membran sebelum peregangan (mm),
- ΔL adalah perubahan panjang membran setelah diberi beban (mm),
- A_m adalah luas membran = $2 t_m w_s$ ($m^2 = mm^2/1000$),
- t_m adalah tebal membran (mm),
- w_s adalah lebar strip membran (15 mm – 20 mm)



Lampiran A
(informatif)
Gambar- gambar



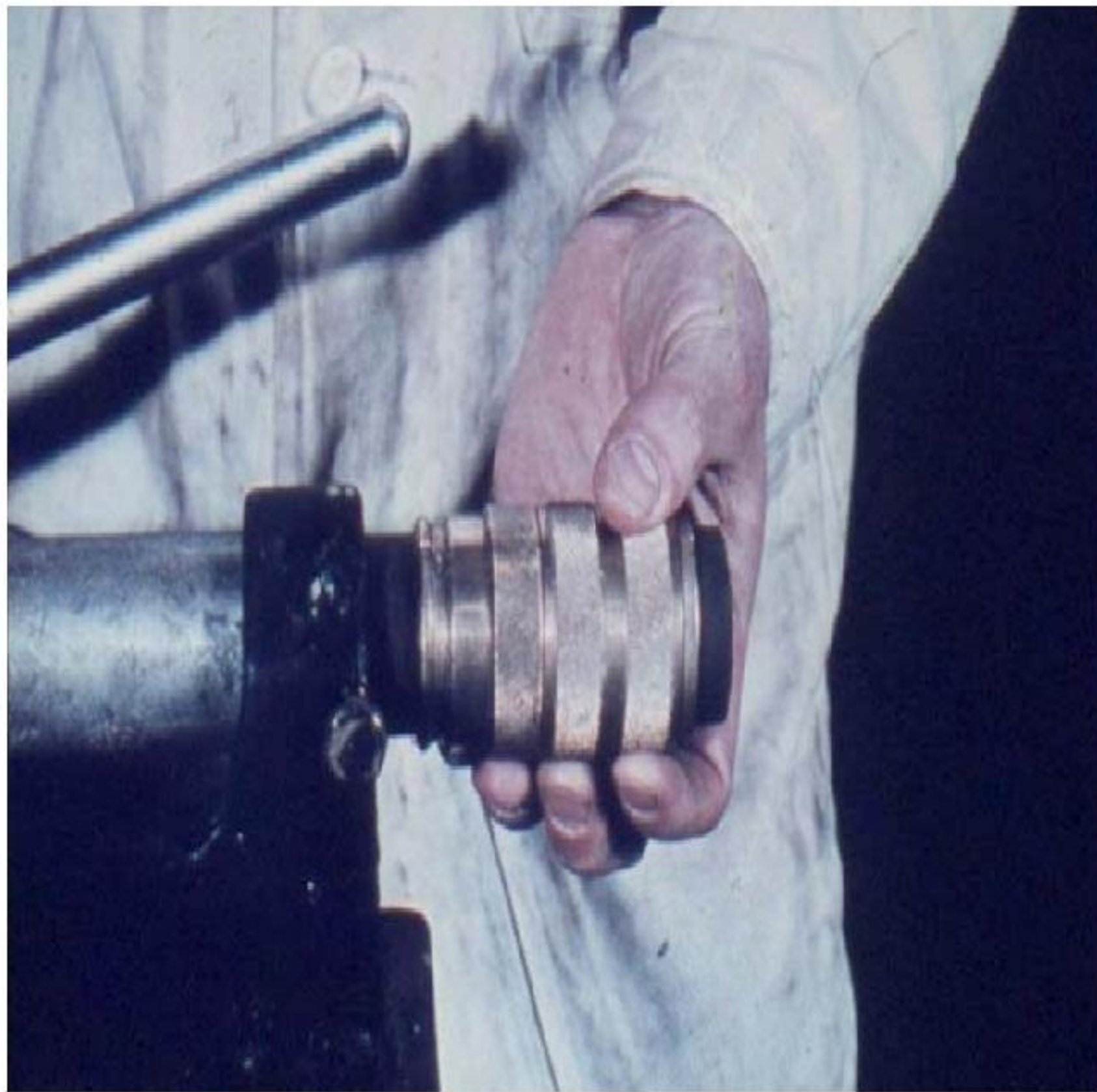
Gambar A.1 - Foto contoh rangkaian sistem triaksial untuk pengujian terkonsolidasi tidak terdrainase (CU) dan terkonsolidasi terdrainase (CD)



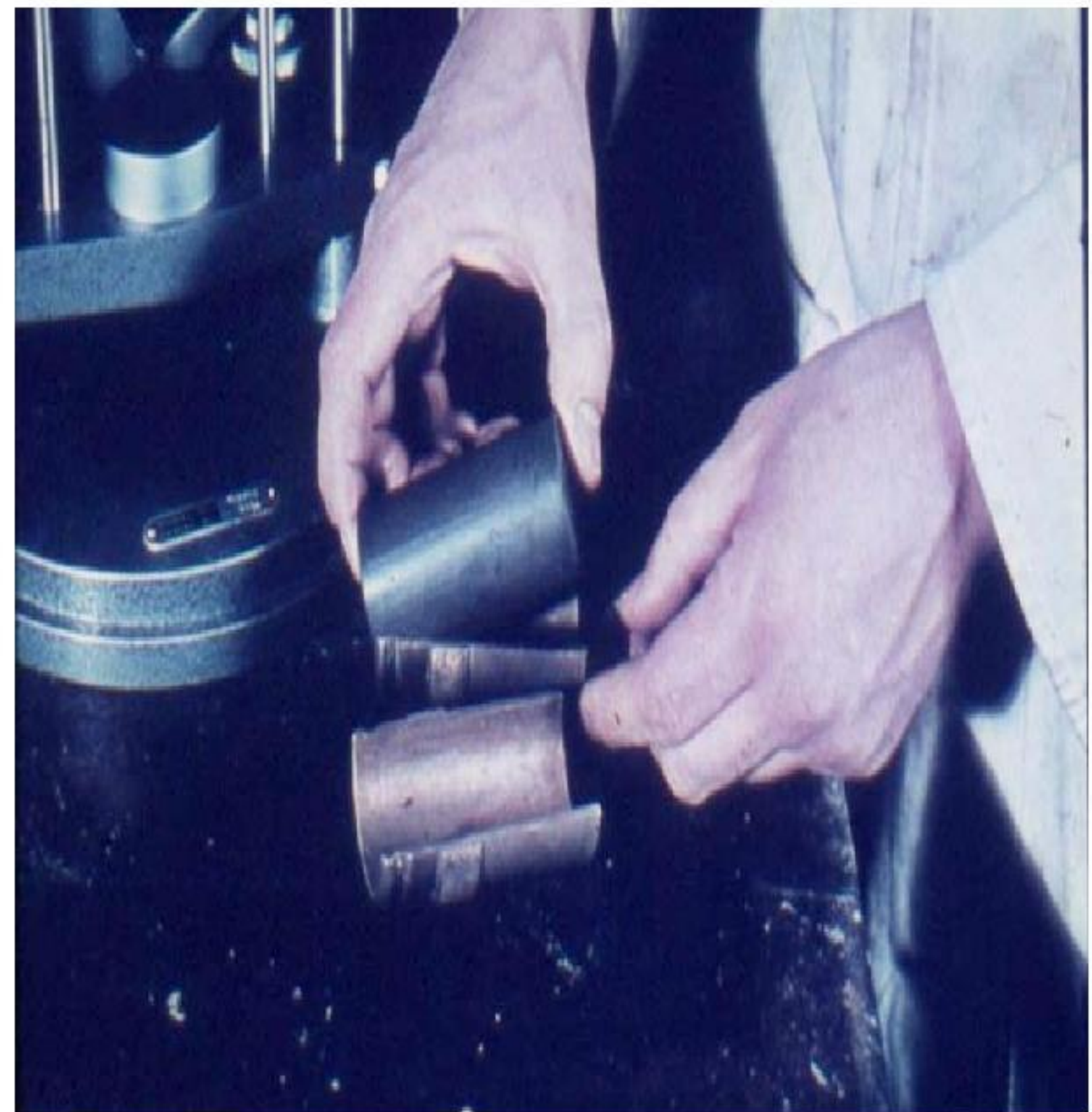
Keterangan gambar :

1. mesin pembeban
2. cincin pengukur beban
3. arloji ukur cincin pengatur beban
4. arloji ukur gerak vertikal
- 5.udukan arloji ukur gerak vertikal
6. sel trisumbu
7. piston
8. contoh tanah
9. sistem tekanan sel
10. sistem tekanan balik
11. sistem tekanan air pori
12. katup pengatur tekanan sel
13. katup pengatur tekanan air pori
14. katup pengatur tekanan balik
15. alat ukur perubahan volume sel
16. katup pengatur alat ukur perubahan volume sel
17. manometer tekanan sel
18. pengatur tekanan sel
19. tangki air tekanan sel
20. katup pengatur tangki tekanan sel
21. alat ukur perubahan volume contoh tanah
22. katup pengatur drainase pada alat ukur perubahan contoh tanah
23. manometer tekanan balik
24. pengatur tekanan balik
25. tangki air tekanan balik
26. katup pengatur tangki tekanan balik
27. kompresor
28. indikator nol
29. katup pengatur alat ukur tekanan air pori
30. sekrup pengontrol indikator nol
31. manometer tekanan air pori
32. pipa U pengukur tekanan air pori < 100 kPa
33. tabung berisi air untuk mengisi sekrup pengontrol indikator nol
34. tabung air pipa U
35. alas contoh tanah (pedestal)
36. tutup pengatur tekanan (top cap)
37. bati pori
38. kertas saring samping

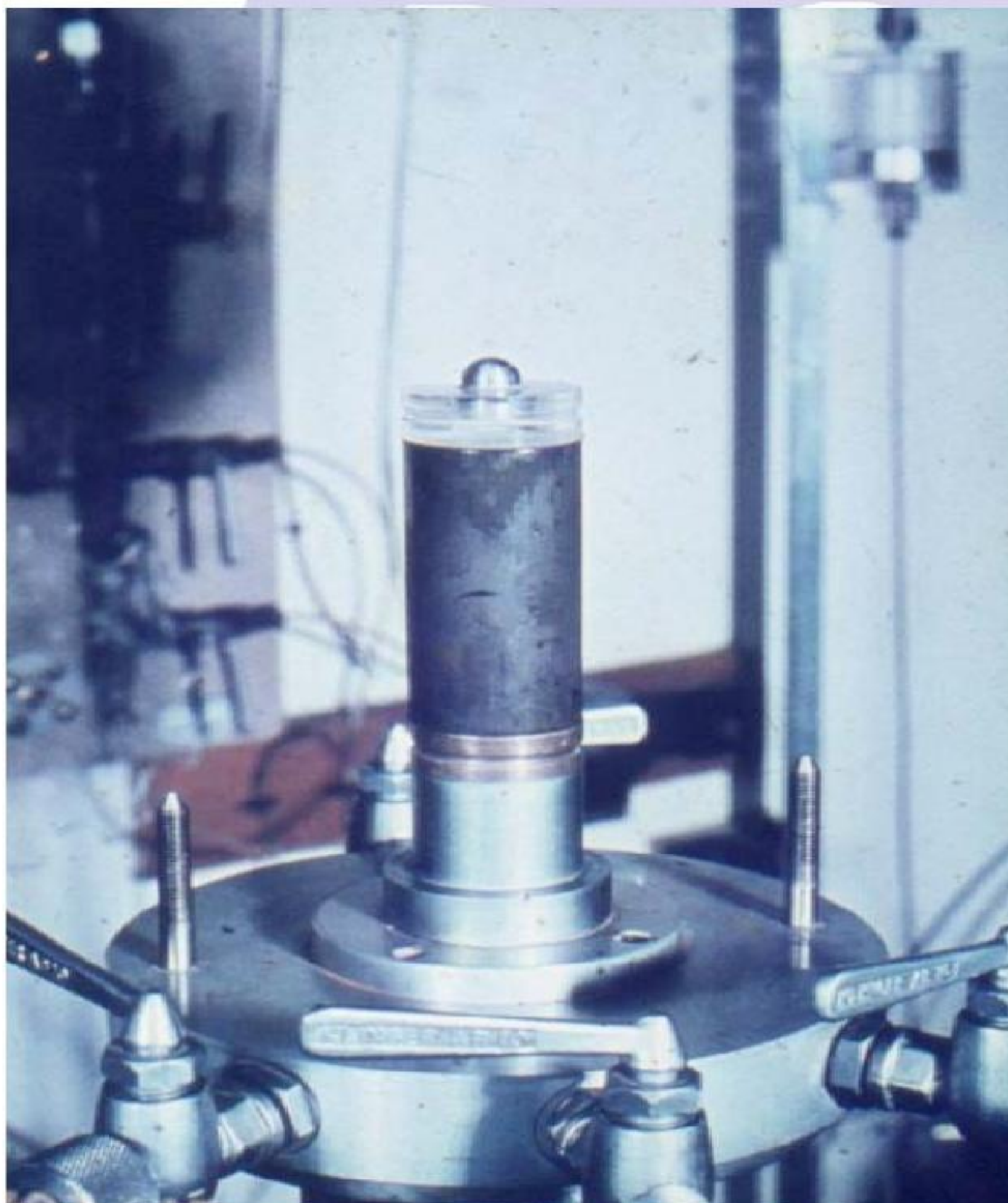
Gambar A.2 - Skema peralatan triaksial untuk pengujian terkonsolidasi tidak terdrainase (CU) dan terkonsolidasi terdrainase (CD)



Gambar A.3 - Pencetakan benda uji dengan tabung belah menggunakan ekstruder



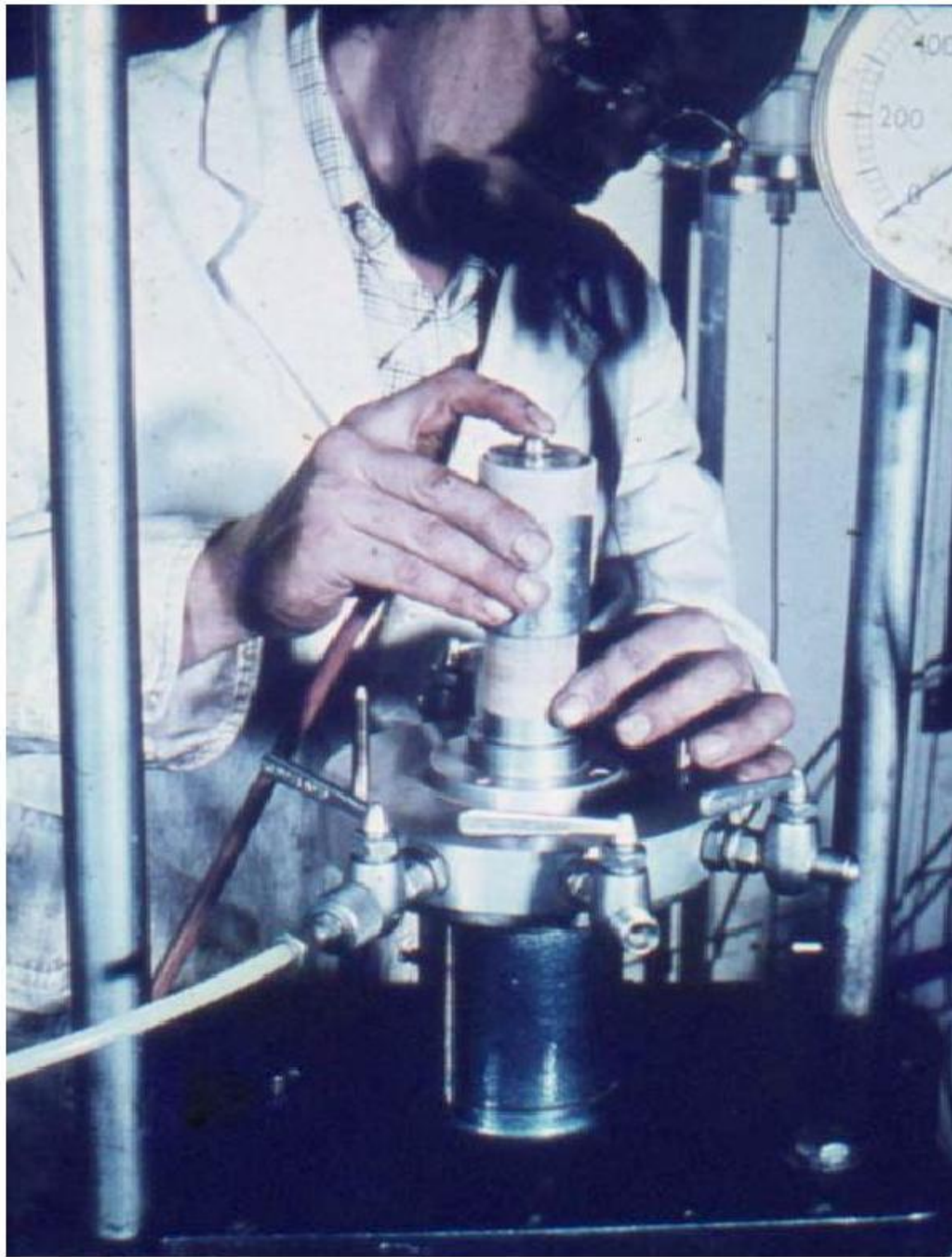
Gambar A.4 - Mengeluarkan benda uji dengan membuka tabung belah



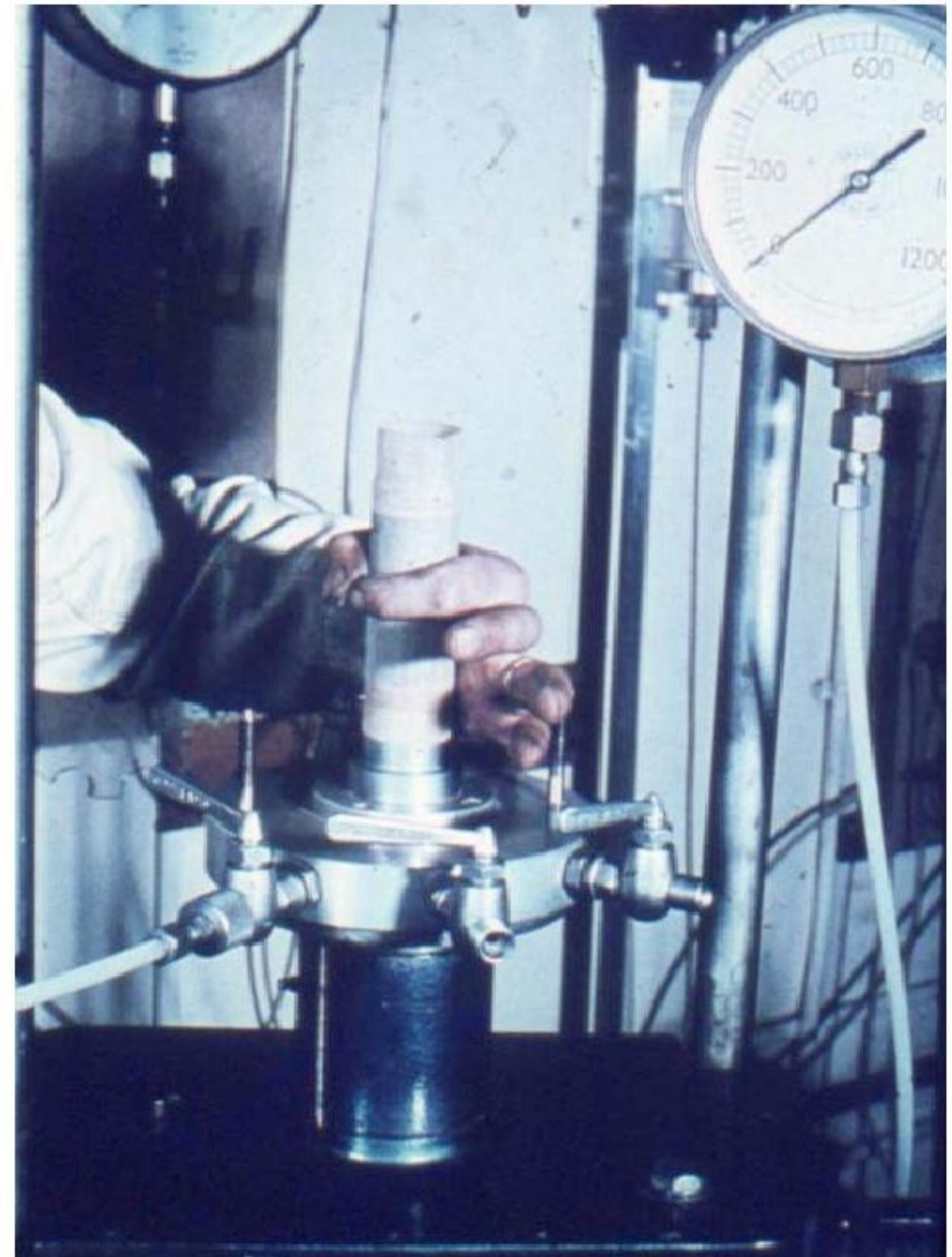
Gambar A.5 - Penempatan benda uji di atas landasan sel triaksial



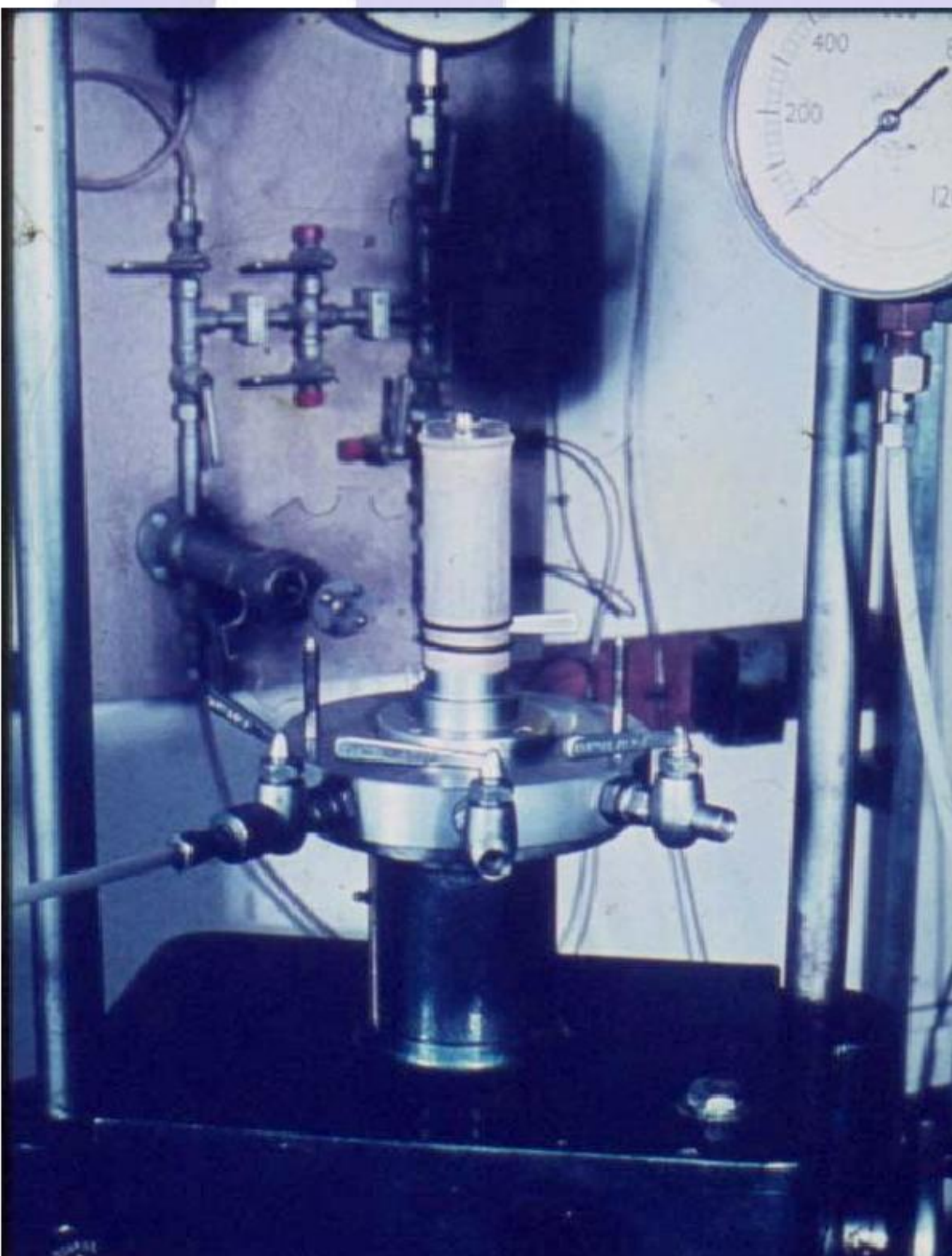
Gambar A.6 - Pemasangan membran karet pada alat peregang membran dan alat isap udara di sampingnya



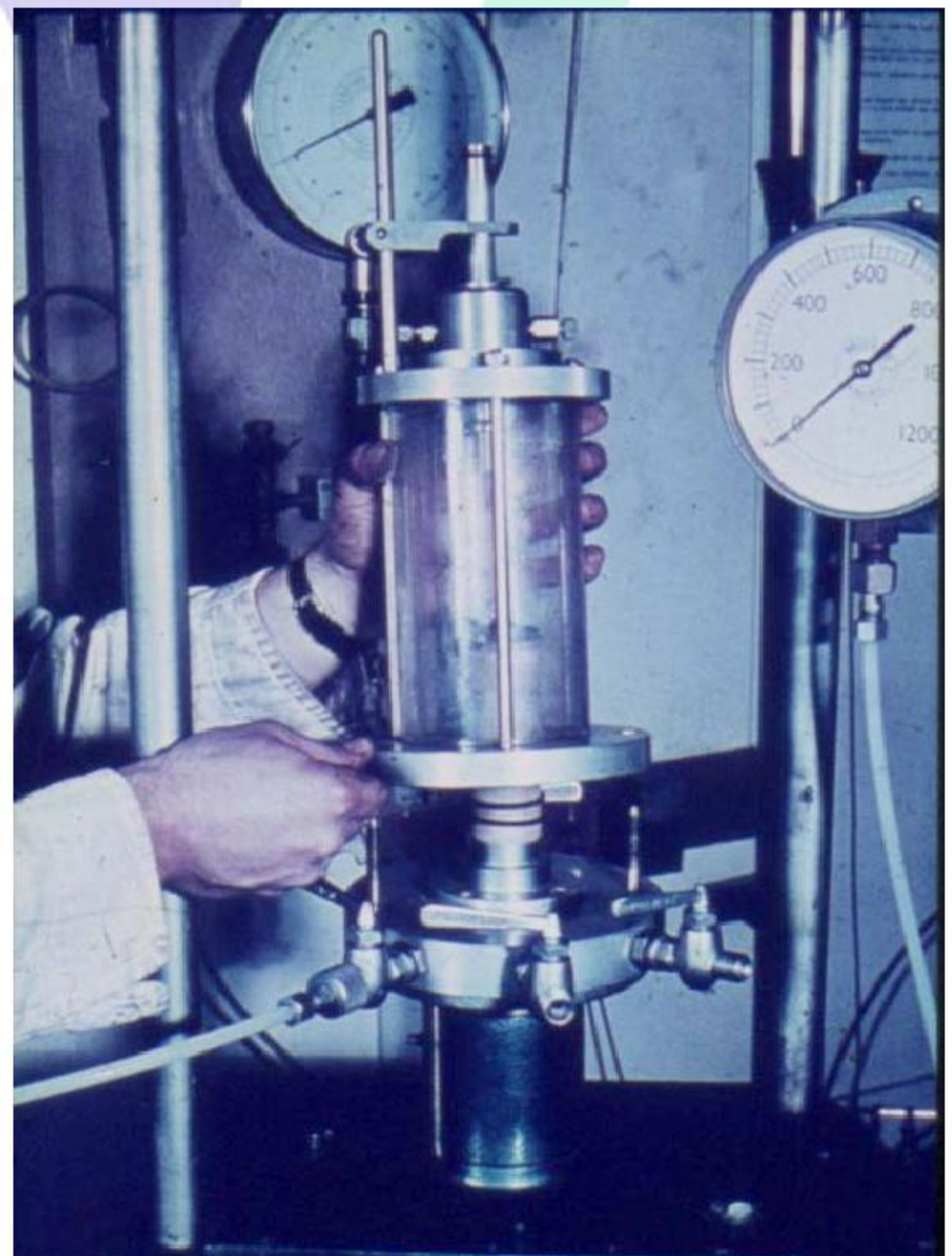
Gambar A.7 - Pemasangan membran karet sekeliling benda uji



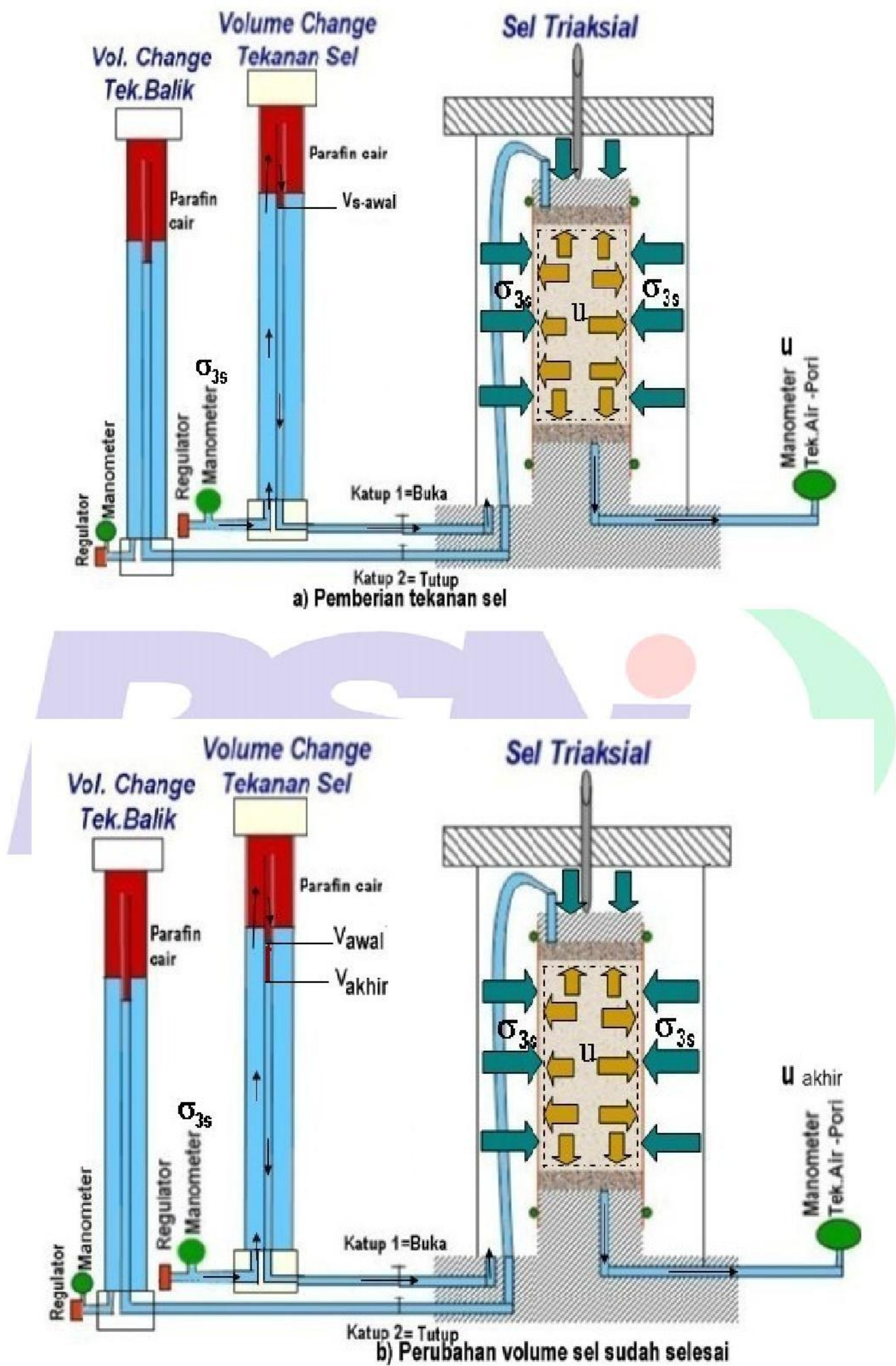
Gambar A.8 - Melepaskan membran karet dari alat sembulan dan meratakan permukaannya



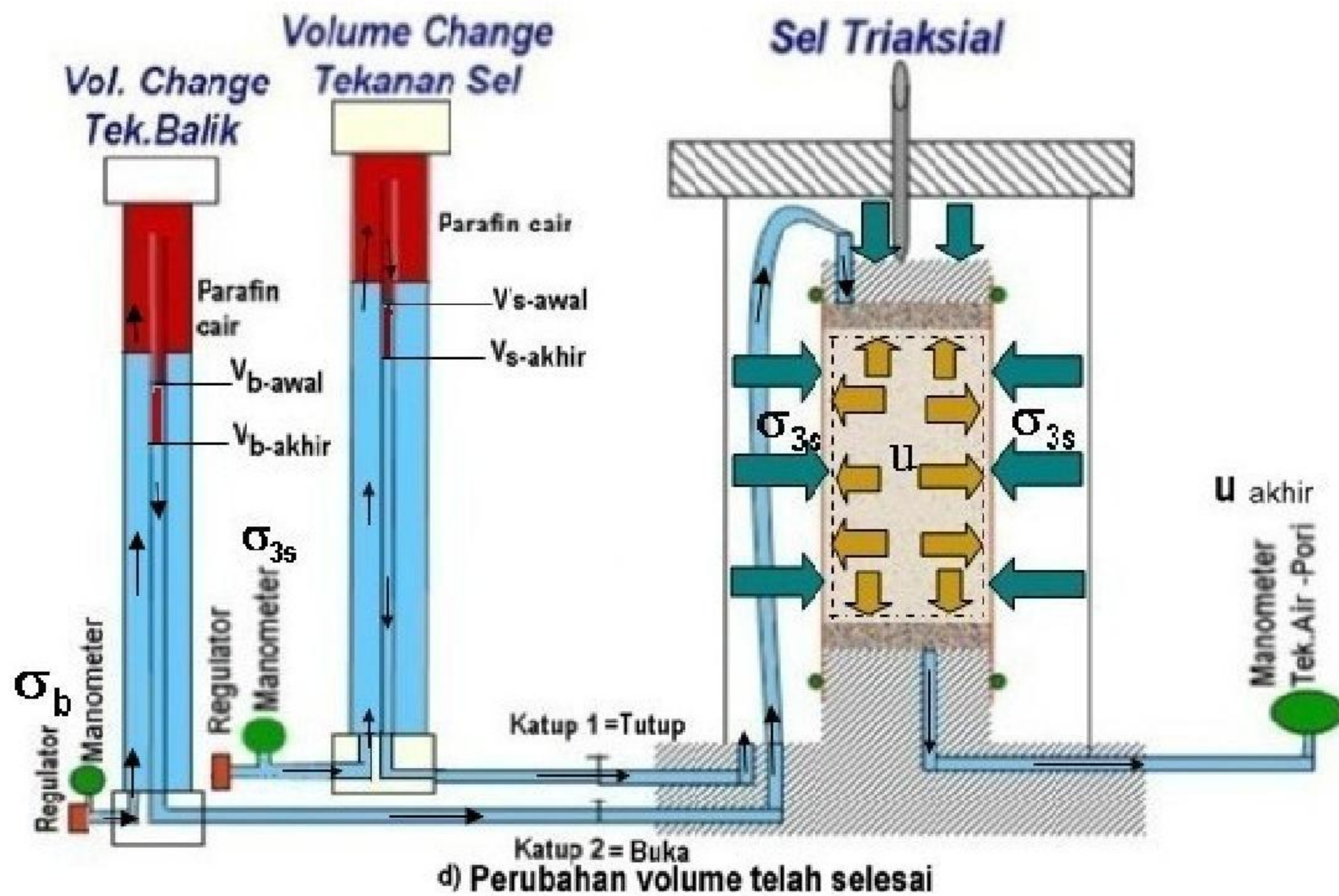
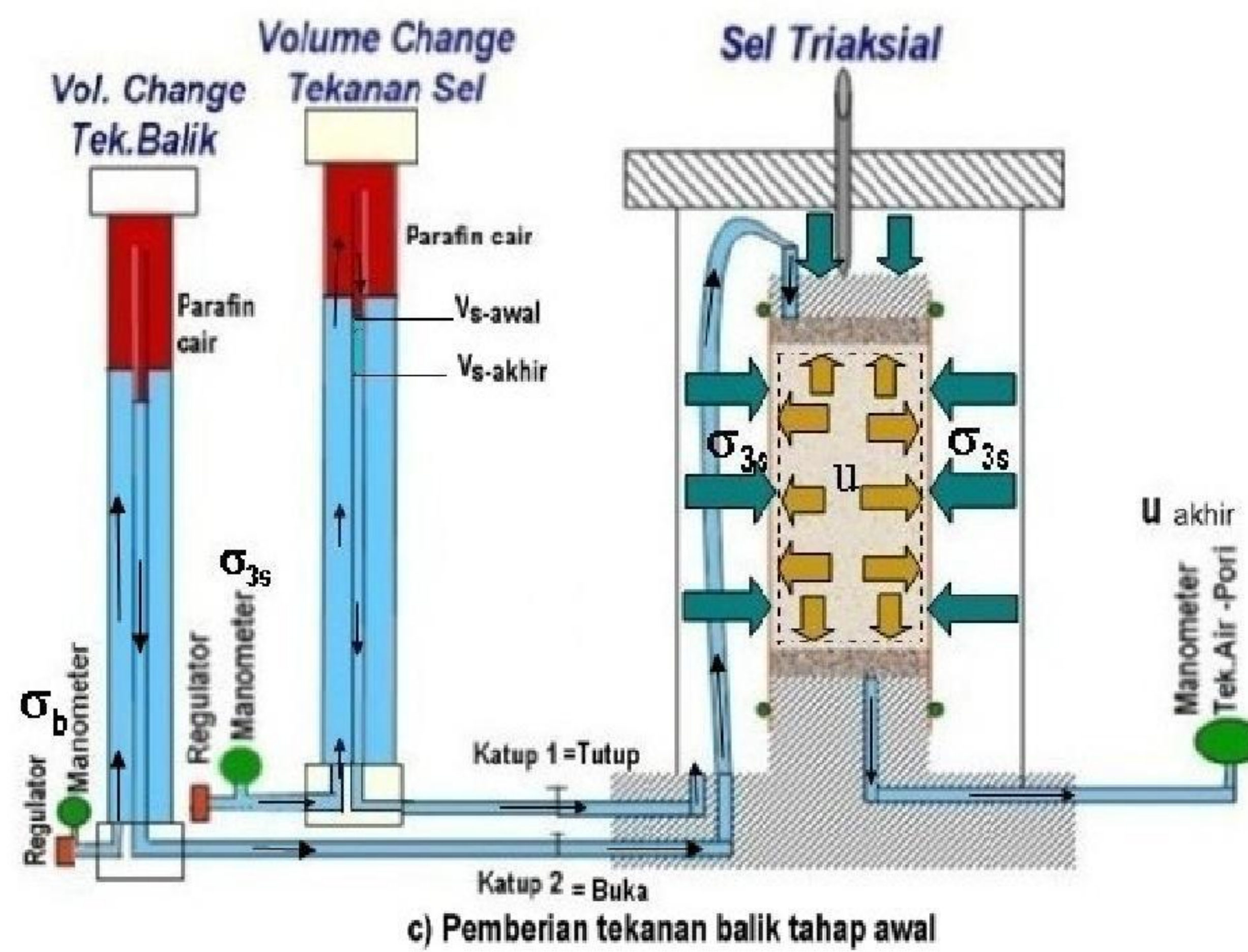
Gambar A.9 - Mengikat bagian atas dan bawah dengan karet O-ring



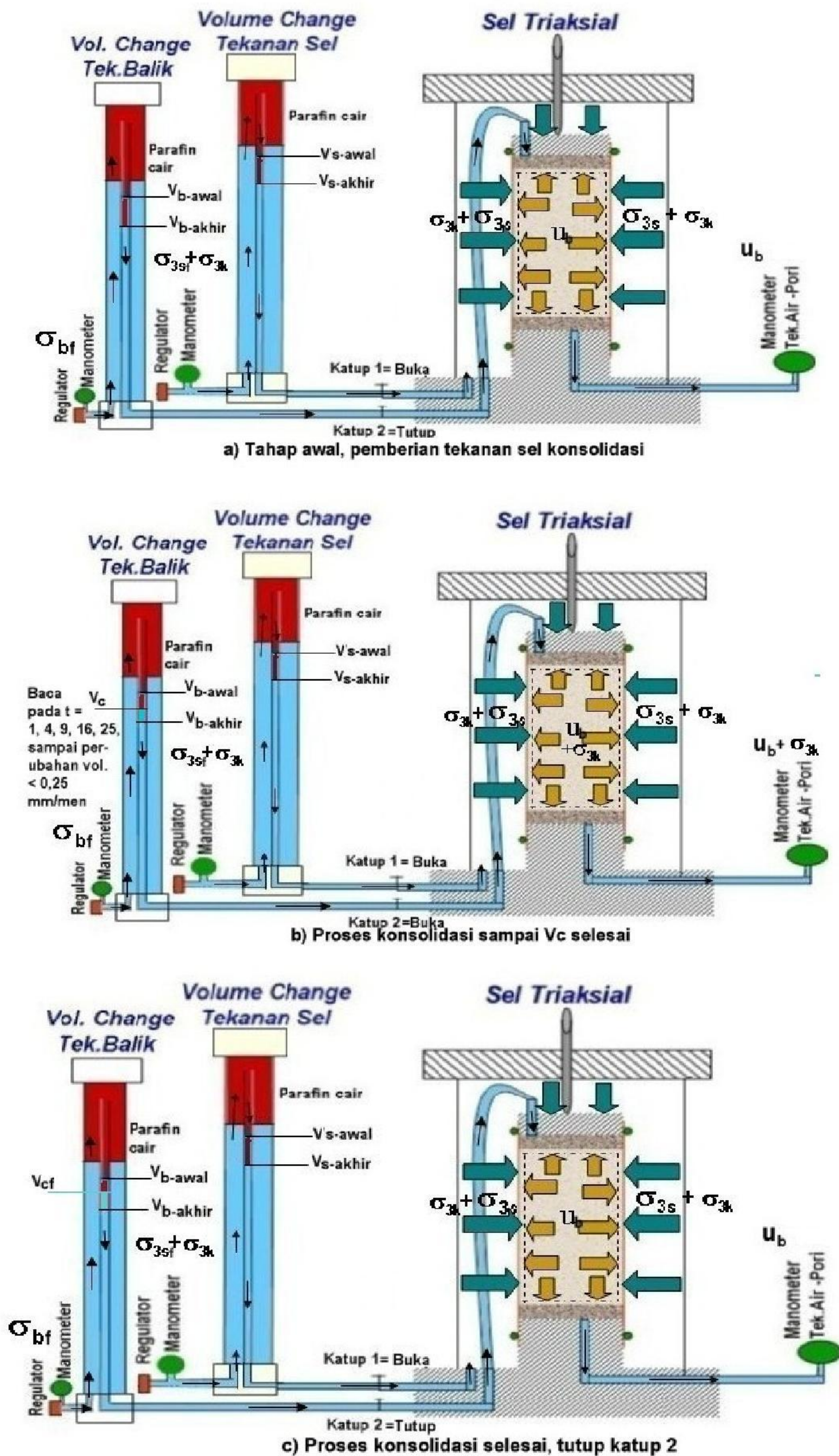
Gambar A.10 - Memasang penutup sel bagian atas



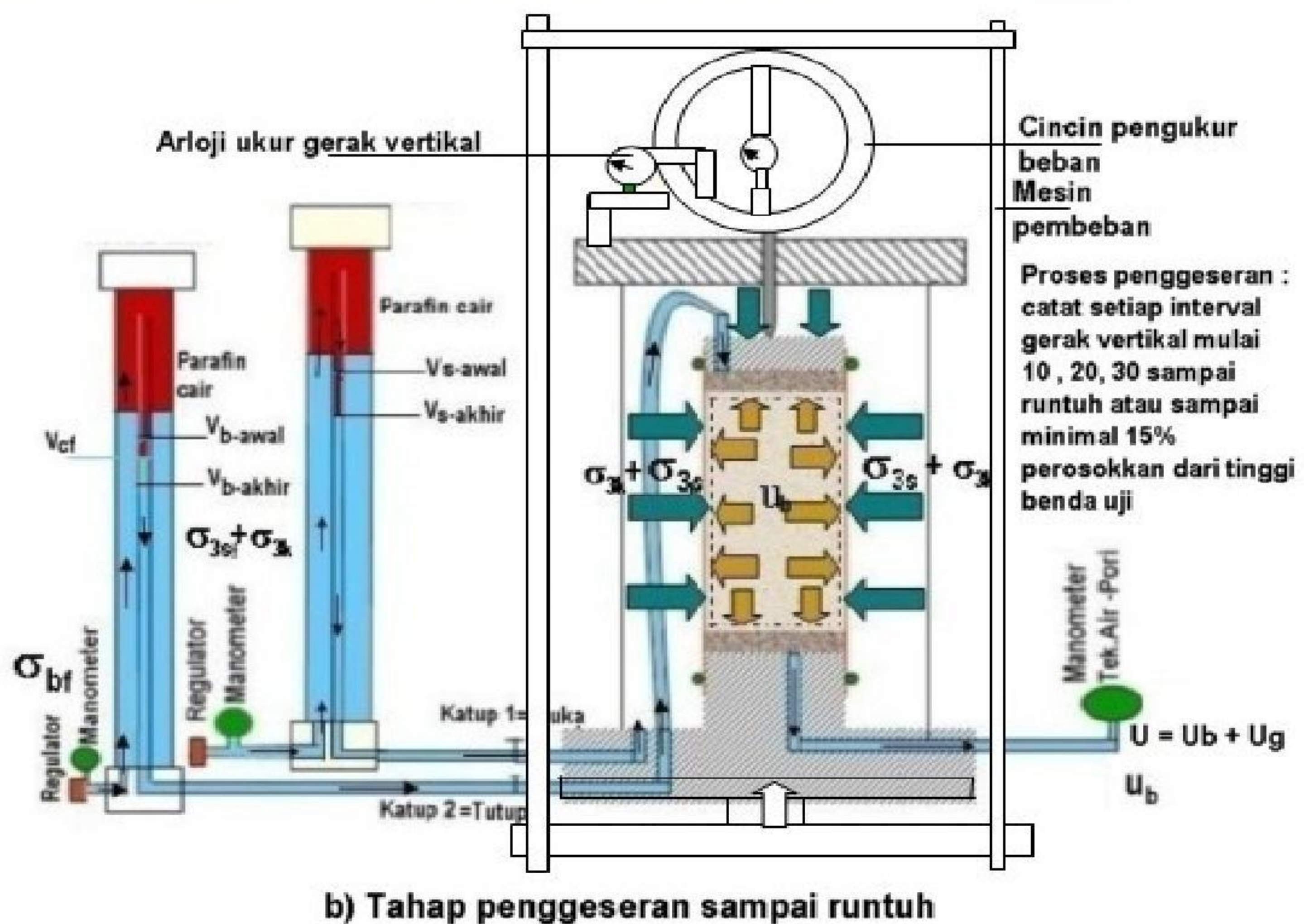
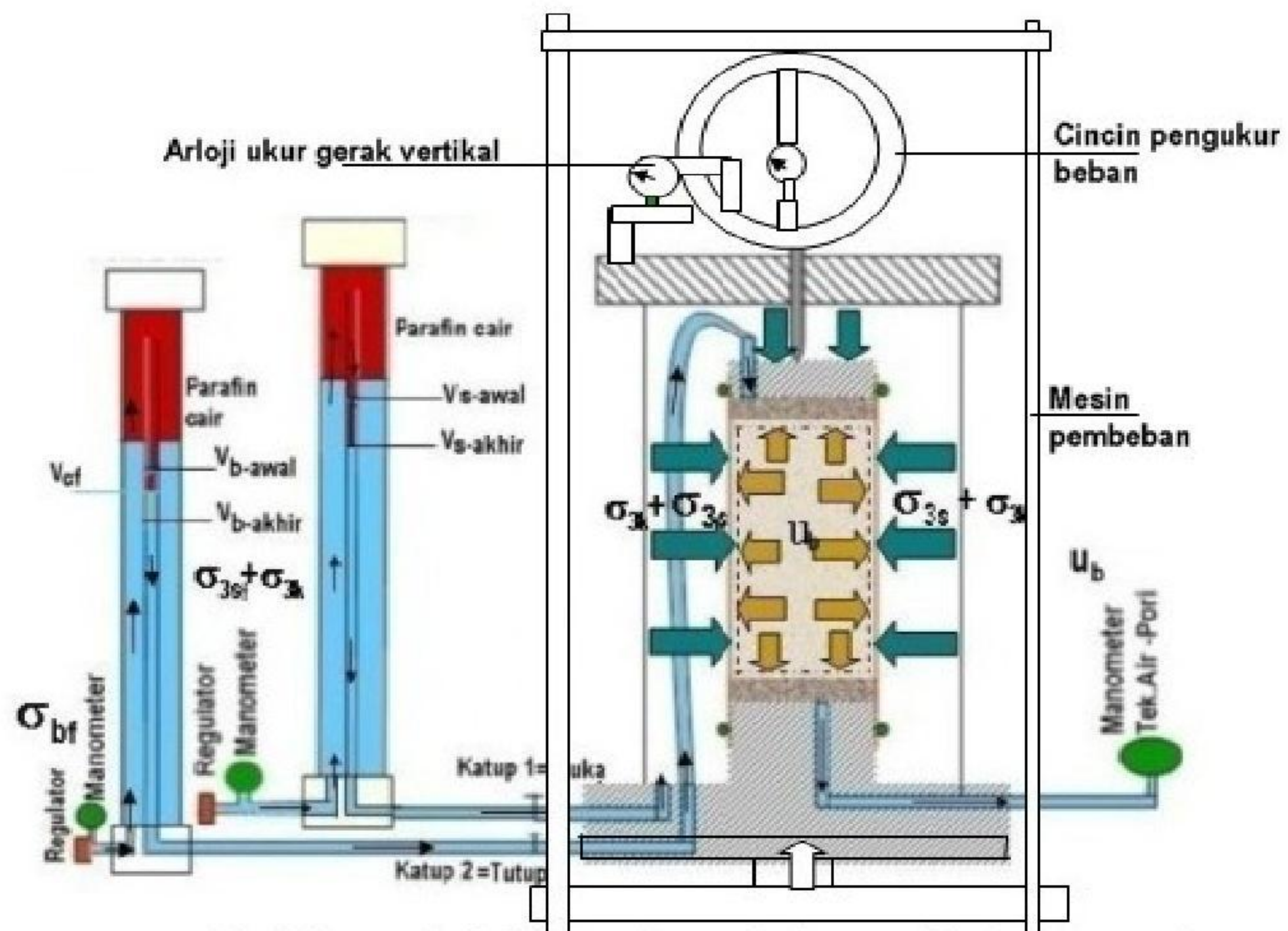
Gambar A.11 - Proses penjenjuran dengan pemberian tekanan sel



Gambar A.11 - Proses penjenjuran dengan pemberian tekanan sel (lanjutan)



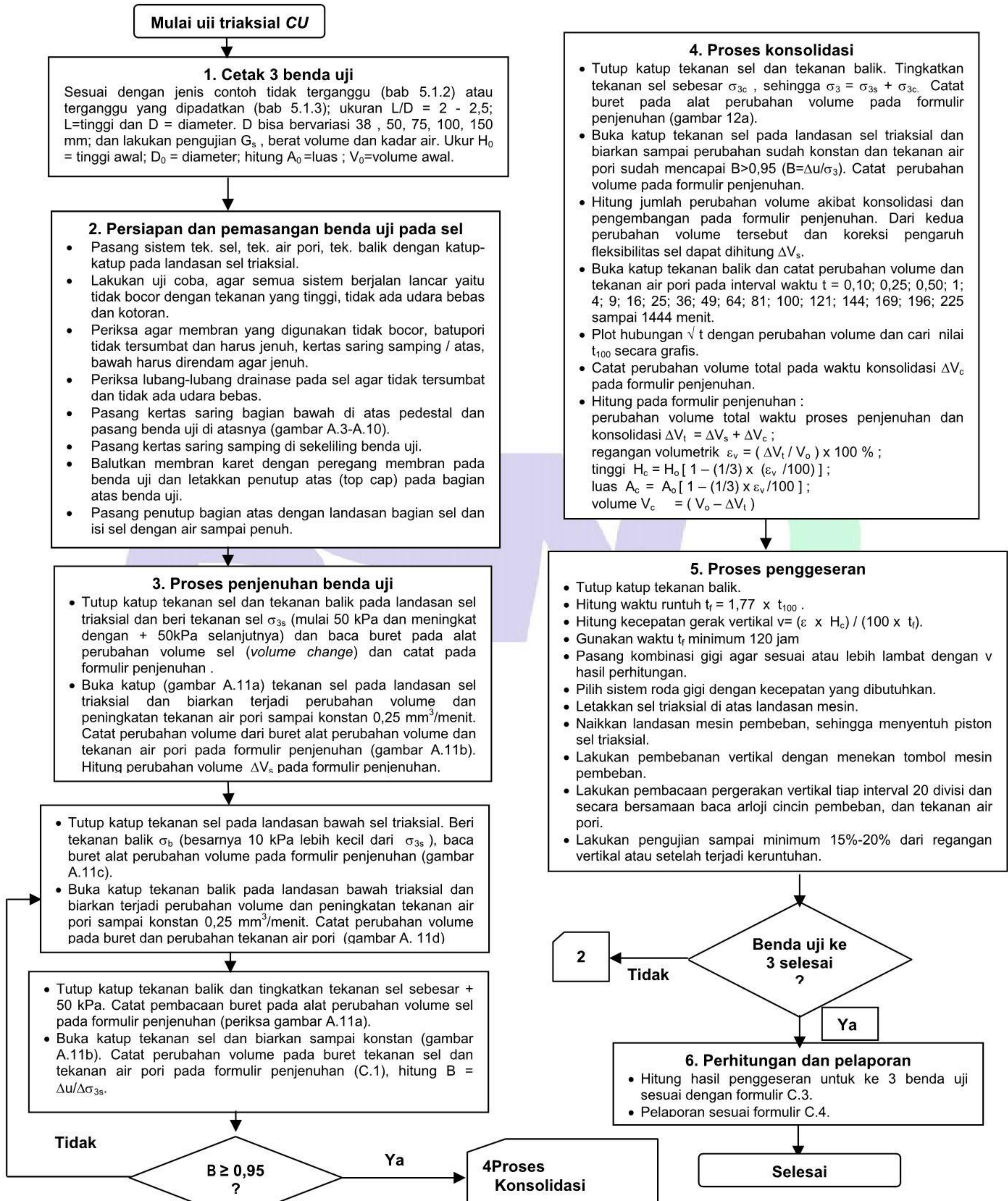
Gambar A.12 - Proses konsolidasi



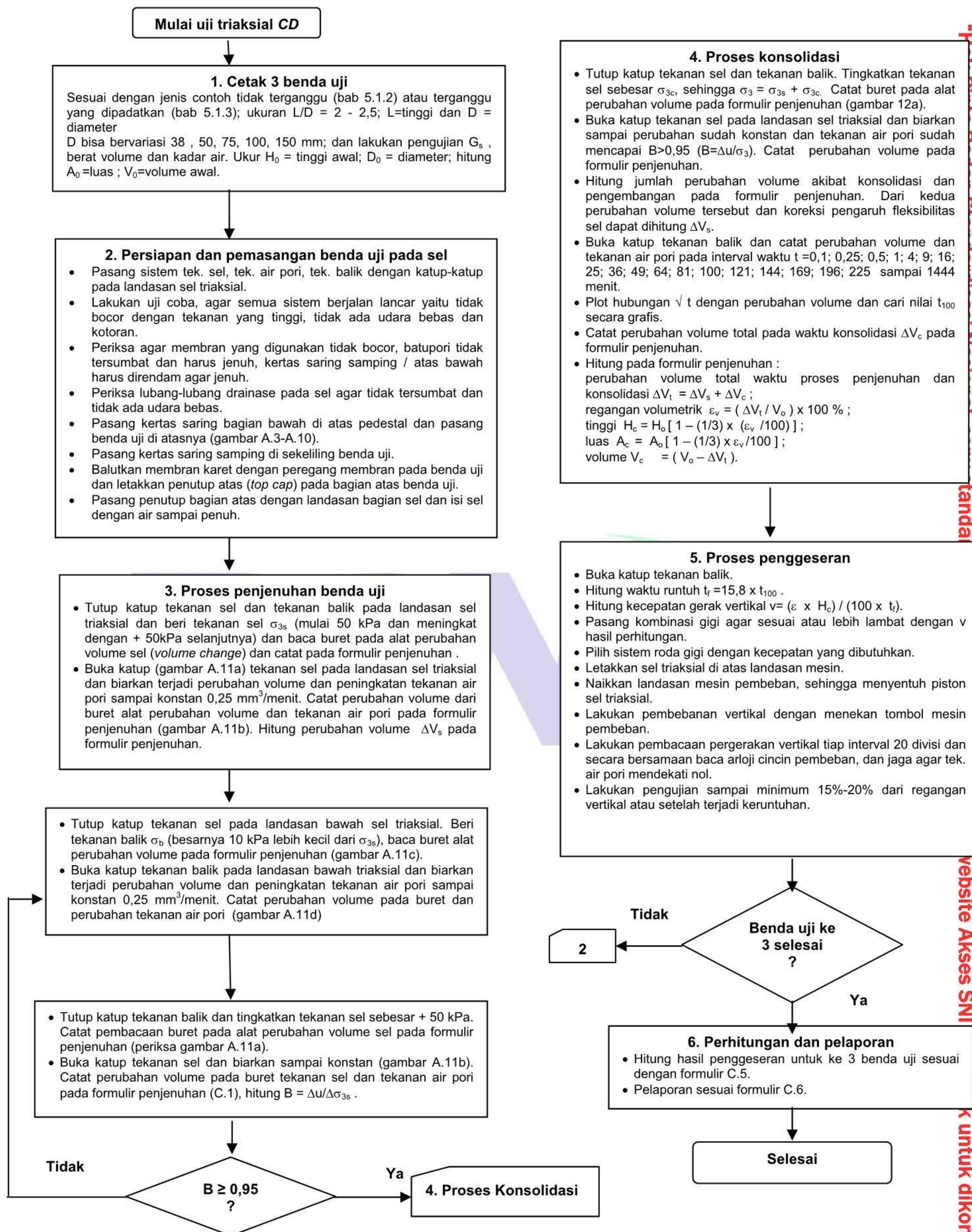
Gambar A.13 - Proses penggeseran tidak terdrainase dengan cara kompresi

(normatif)

Bagan alir cara uji triaksial



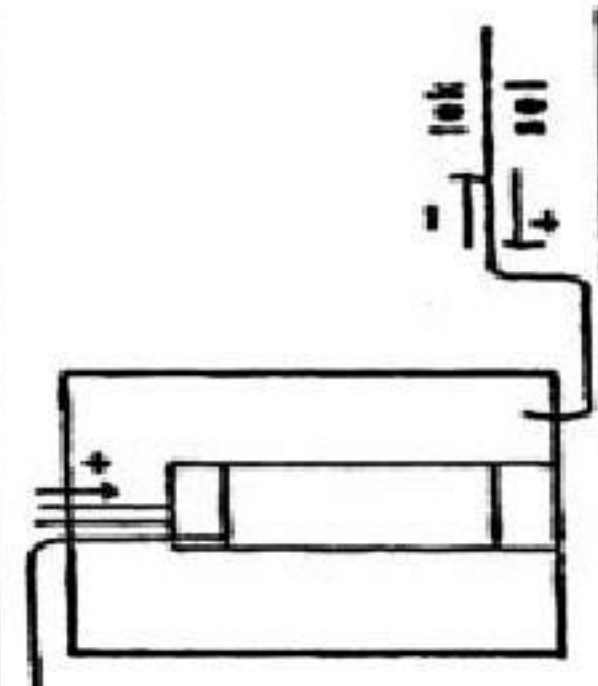
Gambar B.1 - Bagan alir cara uji triaksial untuk tanah dalam keadaan terkonsolidasi (CU)



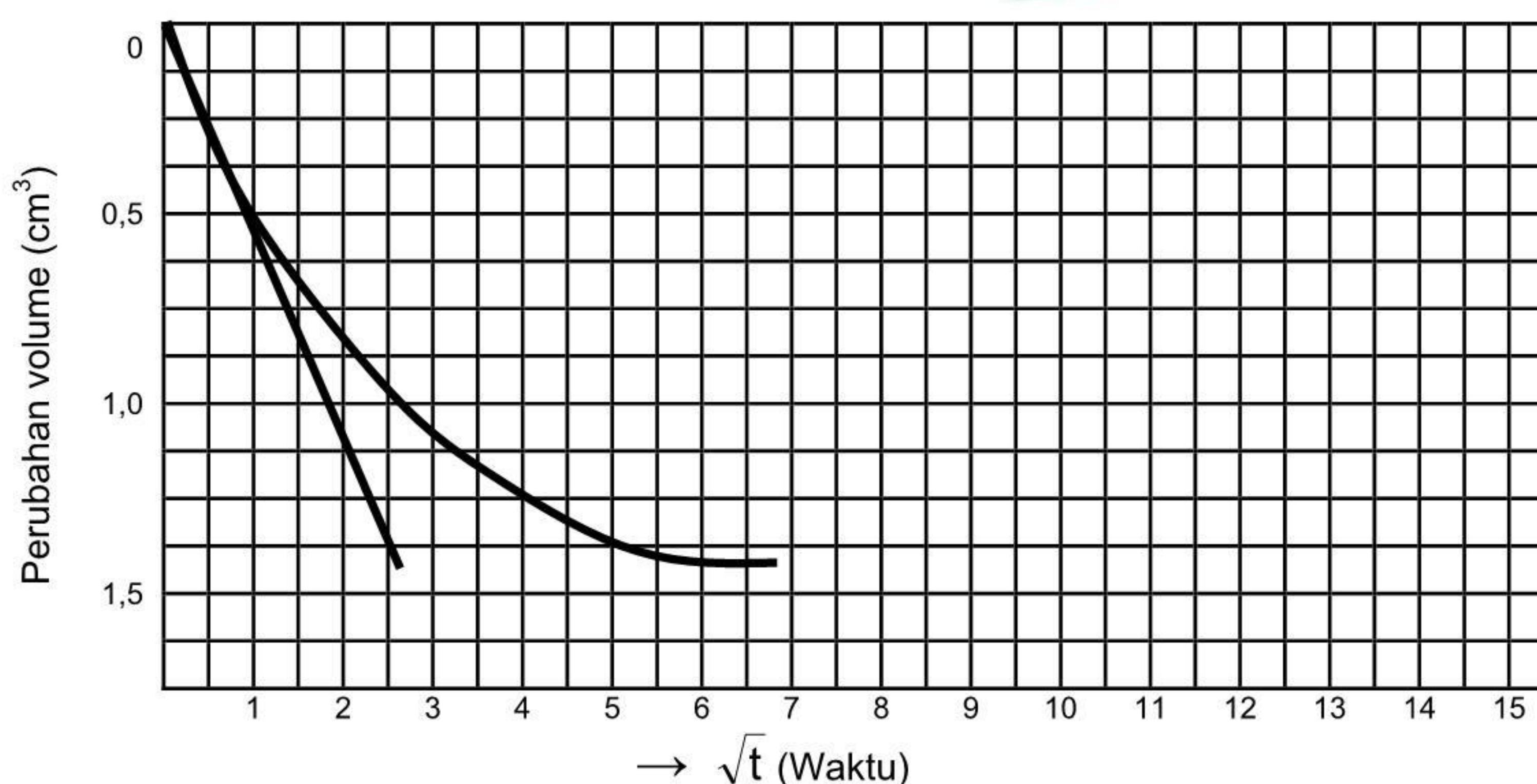
Gambar B.2 - Bagan alir cara uji triaksial untuk tanah dalam kondisi terkonsolidasi dan terdrainase (CD)

Lampiran C
(informatif)
Formulir dan contoh pengujian

Tabel C.1 - Formulir penjenruhan uji triaksial

Lokasi : Jawa Tengah		Tipe uji : CU		No. Bor : BH. 2	
Operator :				Kedalaman : 3,00 – 3,90 m	
Membran karet tebal / tipis		Dengan / tanpa drainase samping		Dia. contoh : 38 mm	
		No. sel : 1		Tinggi Ho : 76 mm	
		No. panel :			
		Tanggal mulai : 1 Mei 1989			
Keterangan :					
Tek. sel kPa	Tek. balik kPa	Tek. pori kPa	Beda tek. pori kPa	Nilai B	Perubahan vol. tek. balik
					Sebelum cc
					Setelah cc
					Beda cc
					Sebelum cc
					Setelah cc
					Beda cc
					+ Konsolidasi cm ³
					- Pengemb. cm ³
0	0				
50	14				
	40				
100	60	20	0,40		
	90				
150	120	30	0,60		
	140				
200	180	40	0,80		
	190				
225	214	24	0,96		
Perjanjian tanda	Benda uji tanah	Sel	Penjenruhan	TOTAL	6,20
Air masuk	-	+	Net volume change		
Air keluar	+	-	Koreksi filter :		
Regangan terkomp.	+		Sel : 3,1		
Koreksi sel	Pengembangan		Perubahan vol. terkoreksi ΔVs	4,30	
Koreksi piston	Terkompresi	-	Perubahan vol. waktu konsolidasi ΔVc	1,50	
		+	ΔVs + ΔVc = ΔVt	= 5,80	
			ε _v = ΔVt / Vo x 100% = 6,729 %		
			1/3 ε _v = 2,243 % ; 2/3 ε _v = 4,486 %		
			Vo = 1134,11 mm ³ ; Vc = 86,19 cm ³		
			Hc = Ho (1 - 1/3 ε _v / 100) = 74,295 mm		
			Ac = Ao (1 - 2/3 ε _v / 100) = 1083,23 mm ²		
			Vc = Vo - ΔVt = 80,39 cm ³		
					
Keterangan : Wo = 147,49 gr					
Wt = - gr					
wo = 36,40 %					
wt = 39,25 %					
γ _{no} = 1,711 gr/cm ³					
γ _a = 1,878 gr/cm ³					
σ ₃ = 35 kPa					

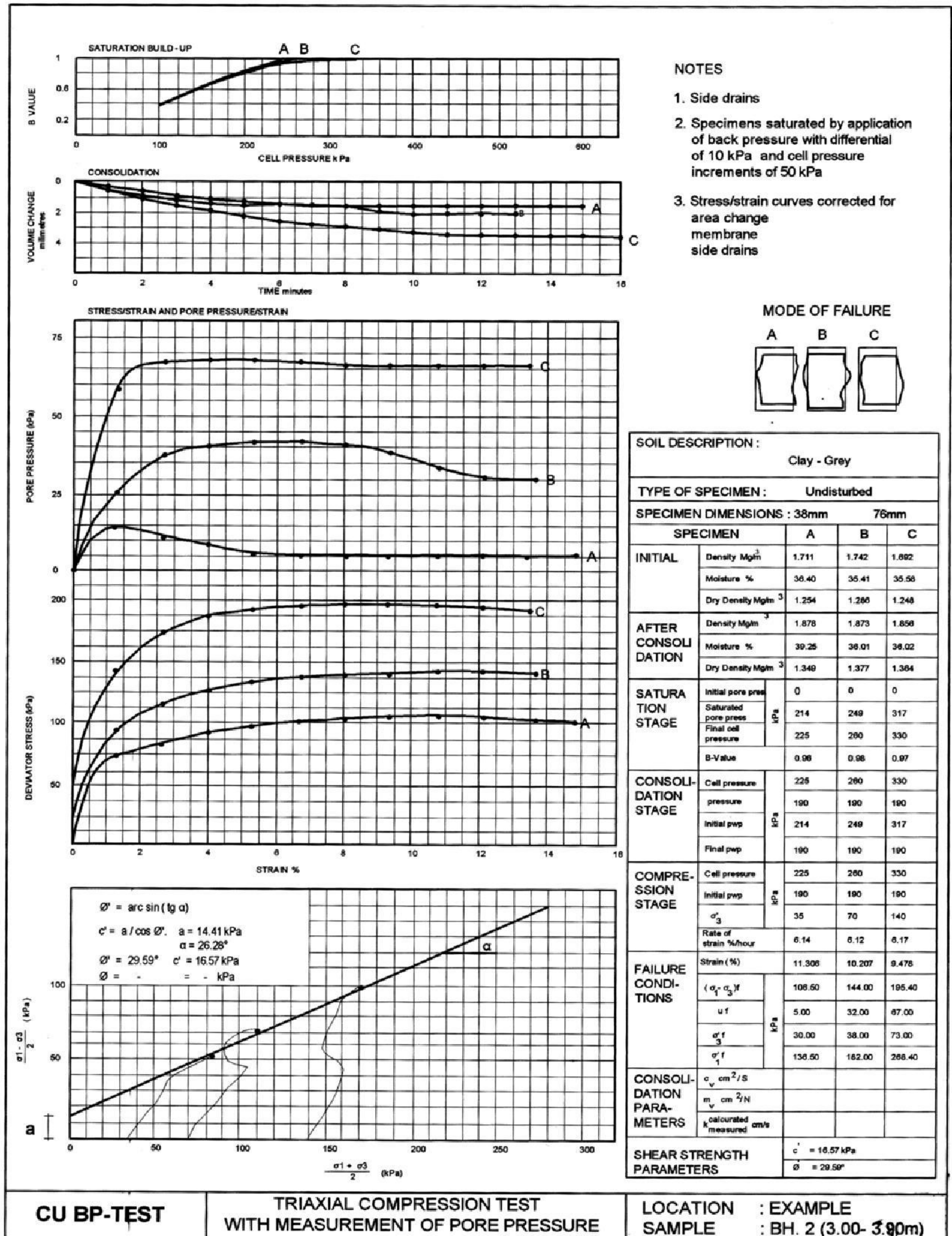
Tabel C.2 - Formulir isian proses konsolidasi

[illegible]

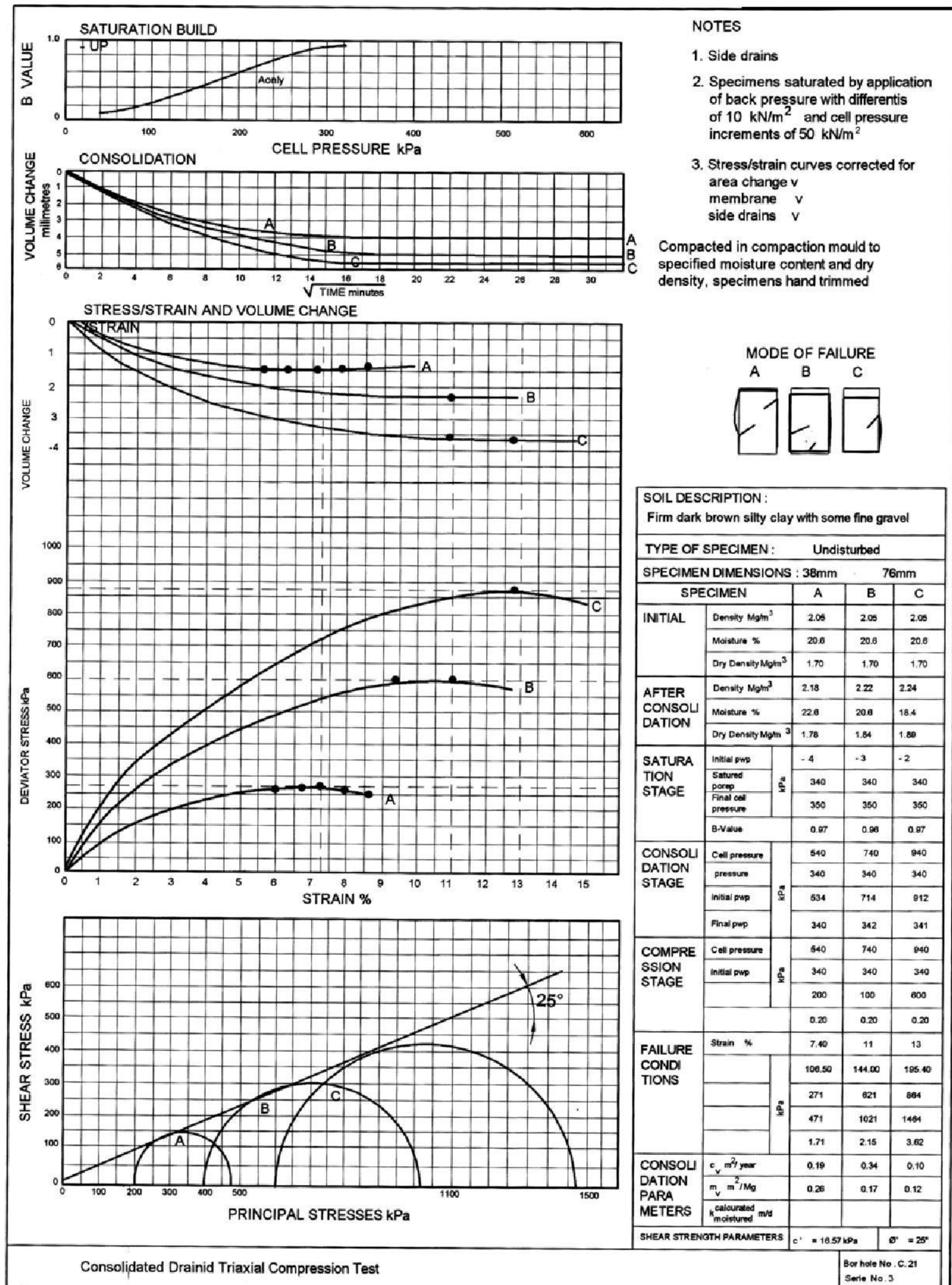
Tabel C.3 - Formulir uji geser dan contoh perhitungan triaksial CU

Proyek	Jembatan kereta api	Tipe uji CU / CD	CU	Cincin no..	-	Diam. benda uji mm	Teg.sel ef kPa	35										
Lokasi	Jawa Tengah	Contoh :	Tidak terganggu	Kal.Cincin (Kg/div)	0,15	Tinggi Hc mm	Teg sel kPa	225										
Pemboran no.	BH2	Kedalaman :	3,00-3,90 m	Kal. dial gerak vert mm/div	0,01	Luas Ac mm ²	Teg.balikk (kPa)	190										
Tanggal	1989	Jenis tanah :	Lempung	Kec.gerak vert (mm/menit)	0,05	Volume Vc cm ³												
No benda uji	XXXXX	Warna :	Abu-abu	Membran	1x0,2mm	Drain sampling	Ya											
Tanggal	Waktu	Regangan		Beban		Tekanan pori		Volume benda uji			Tegangan deviator		Rasio tegangan					
		Bacaan (div)	Gerak vert (mm)	ε (%)	Dial.R (div)	Beban (kg)	u (kPa)	Δu (kPa)	Buret (cc)	Beda (cc)	ΔVg/Vc (%)	Teg. (kPa)	Kor.Memb (kPa)	σ ₁ -σ ₃ (kPa)	σ ₁ (kpa)	σ ₁ ² (kPa)	σ ₃ ² (kPa)	σ ₁ ³ /σ ₃ ³ (kPa)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		0	0	0,000	0,00	0,00	190	0,00				0,00	0,00	0,00	225,00	35,00	35,00	1,00
		20	0,20	0,269	30,80	4,62	194	4,00				42,54	0,00	42,54	267,54	73,54	31,00	2,37
		40	0,40	0,538	38,20	5,73	197	7,00				52,62	0,00	52,62	277,62	80,62	28,00	2,88
		50	0,50	0,673	45,20	6,78	199	9,00				62,18	0,00	62,18	287,18	88,18	26,00	3,39
		80	0,80	1,077	50,10	7,52	202	12,00				68,64	0,00	68,64	293,64	91,64	23,00	3,98
		100	1,00	1,346	54,00	8,10	205	15,00				73,79	0,00	73,79	298,79	93,79	20,00	4,69
		120	1,20	1,615	57,20	8,58	206	16,00				77,94	0,00	77,94	302,94	96,94	19,00	5,10
		140	1,40	1,884	59,00	8,85	200	10,00				80,18	0,00	80,18	305,18	105,18	25,00	4,21
		160	1,60	2,154	61,20	9,18	200	10,00				82,94	0,00	82,94	307,94	107,94	25,00	4,32
		180	1,80	2,423	63,10	9,47	200	10,00				85,28	0,00	85,28	310,28	110,28	25,00	4,41
		200	2,00	2,692	64,20	9,63	200	10,00				86,53	0,00	86,53	311,53	111,53	25,00	4,46
		300	3,00	4,038	68,20	10,23	200	10,00				90,65	0,00	90,65	315,65	115,65	25,00	4,63
		400	4,00	5,384	73,00	10,95	196	6,00				95,66	0,00	95,66	320,66	124,66	29,00	4,30
		500	5,00	6,730	76,10	11,42	195	5,00				98,31	0,00	98,31	323,31	128,31	30,00	4,28
		600	6,00	8,076	80,00	12,00	195	5,00				101,85	0,00	101,85	326,85	131,85	30,00	4,40
		700	7,00	9,422	83,00	12,45	195	5,00				104,13	0,00	104,13	329,13	134,13	30,00	4,47
		800	8,00	10,768	85,80	12,87	195	5,00				106,04	0,00	106,04	331,04	136,04	30,00	4,53
		820	8,20	11,037	86,40	12,96	195	5,00				106,46	0,00	106,46	331,46	136,46	30,00	4,55
		840	8,40	11,306	86,70	13,01	195	5,00				106,51	0,00	106,51	331,51	136,51	30,00	4,55
		860	8,60	11,575	86,70	13,01	195	5,00				106,18	0,00	106,18	331,18	136,18	30,00	4,54
		880	8,80	11,845	86,80	13,02	195	5,00				105,98	0,00	105,98	330,98	135,98	30,00	4,53
		900	9,00	12,114	86,70	13,01	195	5,00				105,54	0,00	105,54	330,54	135,54	30,00	4,52
		1000	10,00	13,460	86,20	12,93	195	5,00				103,32	0,00	103,32	328,32	133,32	30,00	4,44
		1100	11,00	14,806	85,10	12,77	195	5,00				100,42	0,00	100,42	325,42	130,42	30,00	4,35
Catatan : γ _{no} = 1,711 gr/cm ³ ; γ _h = 1,878 gr/cm ³ ; W _o = 147,49 gr ; w _o = 36,40 % ; w _l = 39,25%													Tanda tangan : Nama Operator					

Tabel C.4 - Contoh hasil pelaporan uji triaksial CU



Tabel C.6 - Contoh hasil pelaporan uji triaksial CD



Bibliografi

ASTM D 4767-88, *Consolidated Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils*

SNI 03-4813, *Cara uji triaksial untuk tanah kohesif dalam keadaan tanpa konsolidasi dan drainase*

Head, K,H (1981), *Manual of Soil Laboratory Testing*, Vol, II dan Vol, III, Pentech Press, London, Plymouth, ISBN 0-7273-1305-3.

Sosrodarsono, S dan Takeda K (1977) Editor, *Bendungan Tipe Urugan*, Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.

